



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse- ja maaehitusinstituut
Maaehituse osakond

Peep Nurme

**ERINEVATEST PUIDULIIKIDEST LIIMPUITLATTIDE TUGEVUSKATSED JA
NENDEST MONTEERITAVA VÕRKKOORIKU MODELLEERIMINE**

**STRENGTH TESTS OF DIFFERENT WOOD SPECIES GLULAM BARS AND
MODELLING A MOUNTABLE GRID SHELL FROM THEM**

Ehitusinseneriõppe lõputöö

Maaehituse õppekava

Juhendaja: lektor Tõnis Teppand, MSc

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Peep Nurme		Õppekava: Maaehitus (382)	
Pealkiri: Erinevatest puiduliikidest liimpuitlattide tugevuskatsed ja nendest monteeritava võrkkooriku modelleerimine			
Lehekülgi: 114	Jooniseid: 54	Tabeleid: 8	Lisasid: 8
Osakond: Uurimisvaldkond: Juhendaja(d): Kaitsmiskoht ja aasta:		Maaehituse osakond Puidust võrkkoorikud Tõnis Teppand Tartu 2017	
<p>Puidust võrkkoorikutel on mitmeid häid omadusi, näiteks hea omakaalu ja kandevõime suhe. Praegu kasutatakse puidust võrkkoorikuid vähe just nende projekteerimise ja püstitamise keerukuse tõttu. Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uue materjali tootmistehnoloogia teostatavuse kontrollimine (patenditaotlus P201700011, Tõnis Teppand) ja selle tugevusomaduste väljaselgitamine, mis lihtsustaks puidust võrkkoorikute projekteerimist ja püstitamist.</p> <p>Lõputöö raames koostati erinevatest puiduliikidest liimpuitlatted, mida on võimalik üksteise otsa monteerida. Koostatud katsekehade teostati erinevaid tugevuskatseid ning purustatud katsekehade näidiseid uuriti ka valgus- ning elektronmikroskoobiga, et näha katsekehades toimunud deformatsioone. Paralleelselt uudse materjali katsetustega modelleeriti ka konkreetse näite põhjal puidust võrkkoorik. Seda koormati lõplike elementide arvutiprogrammis asjakohaste koormustega ning hiljem võrreldi saadud sisejõudusid katsetatud materjali tugevusnäitajatega.</p> <p>Katsetulemused näitasid, et koostatud uuenduslik kombineeritud ristlõikega liimpuidust materjal on tavalisest massiivpuidust tugevam. Katsetatud massiivpuidu keskmine paindetugevus oli 45,92 MPa ja keskmine survetugevus 23,81 MPa. Katsetatud uue materjali keskmine paindetugevus oli 106,28 MPa ning keskmine survetugevus 55,59 MPa. Kindlasti peab tähelepanu juhtima ka kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide elastsusmoodulile, mis oli keskmiselt 14474 MPa. Selline väärtus näitab väga kõrgete paindetugevuste juures materjali suurt elastsust. Soovitud tulemusi ei saavutatud lattide omavahelise ühenduse tugevuskatsetel, kus ühenduse tugevus jäi oluliselt alla materjali enda tugevusele.</p> <p>Uuendusliku materjali esialgsed tugevus- ja jäikusomadustega näitasid väga suurt potentsiaali ning enamused püstitatud hüpoteesid said ka positiivse vastuse. Lattide omavahelise ühenduse tugevuse suurendamiseks on vaja teostada edasisi katseid ning proovida erinevaid ühenduspikkuseid ja tapilukke. Kindlasti peab materjali põhjalikumalt uurima ning kõige paremate omadustega kombinatsioone suuremas mahus katsetama, et põhjapanevaid järeldusi teha. Käesoleva magistritööga on uue materjali esialgne uuring teostatud ning siit on hea põhjalikumalt edasi minna.</p>			
Märksõnad: võrkkoorik, liimpuit, monteeritav latt, erinevad puiduliigid, võrkkooriku modelleerimine.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Peep Nurme		Specialty: Rural Building (382)	
Title: Strength tests of different wood species glulam bars and modelling a mountable gridshell from them			
Pages: 114	Figures: 54	Tables: 8	Appendixes: 8
Department: Field of research: Supervisors: Place and date:		Department of Rural Building Timber gridshells Tõnis Teppand Tartu 2017	
<p>Timber gridshells have many good characteristics, for example a good dead weight and bearing capacity ratio. Timber gridshells are not very popular now, because of complicated design and construction process. The present master's thesis aim was to check the production process feasibility and to find out the strength properties of the new material (patent application P201700011, Tõnis Teppand), that would simplify timber gridshell design and construction process.</p> <p>During this master's thesis a series of mountable glulam bars were made from different wood species. Specimens were tested in different strength tests and samples will be studied with light and electron microscope. Aside to new material tests a timber gridshell was modeled based on a concrete example. It was loaded in a finite element computer software with appropriate loads and internal forces were compared with test results.</p> <p>Test results showed, that new combined section glulam material is stronger than usual solid timber. Tested solid timber average bending strength was 45,92 MPa and average compressive strength was 23,81 MPa. Tested new material average bending strength was 106,28 MPa and average compressive strength was 55,59 MPa. It must be said, that combined section glulam material has a relatively low modulus of elasticity, an average of 14474 MPa. This value shows a great material elasticity as well as it has high bending strength. Glulam bars joint tests haven't achieved the goals that were expected and joint strength was significantly lower than the material overall strength.</p> <p>Innovative material's preliminary strength and stiffness results are showing great potential and most of the hypothesis had a positive answer. To improve the strength in the glulam bars joint, a series of new tests should be carried out and different connection lengths and joint locks should be tested. A further radical research should be done and the best glulam bar wood species combinations should be tested in a greater capacity to make fundamental conclusions. Present master's thesis has covered the preliminary research of this new material and has established a good ground to go further.</p>			
Keywords: gridshell, glulam, mountable bar, different wood species, modeling a gridshell.			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1. KIRJANDUSE ANALÜÜS	9
1.1. Koorikkonstruksioon ja võrkkoorik.....	9
1.2. Suuresildelised puitehitised	9
1.3. Puidust võrkkoorikud.....	11
1.3.1. Hüperboolne paraboloid ehk sadulpinnaline võrkkoorik	12
1.3.2. Kuppel- ning toruspinnaline võrkkoorik	13
1.4. Puidust võrkkoorikute sõlmed	14
1.5. Maailmas püstitatud suuresildelised puitvõrkkoorikud	16
1.5.1. Mannheim'i puitvõrkkoorik	17
1.5.2. Saville Garden'i puitvõrkkoorik.....	17
2. METOODIKA.....	19
2.1. Puitvõrkkooriku modelleerimine	19
2.2. Katsekehade eeltööd	23
2.2.1. Katsekehade materjal.....	23
2.2.2. Puitlamellide töötlemine.....	24
2.3. Katsekehade koostamine.....	26
2.3.1. Rakised katsekehade liimimiseks	26
2.3.2. V-seeria katsekehade liimimine	28
2.3.3. S – seeria katsekehade liimimine	32
2.4. Katsemetoodika	36

2.4.1.	Paindekatsete metoodika	36
2.4.2.	Survekatsete metoodika.....	39
2.4.3.	Märketapi katsete metoodika.....	41
2.4.4.	Lattide omavahelise ühenduse katsete metoodika.....	43
2.4.5.	Katsekehade mikroskoobiga uurimise metoodika.....	45
2.5.	Modelleeritud puitvõrkkooriku arvutamine LEM programmiga.....	48
2.5.1.	Eesmärgid ja lähteülesanne	48
2.5.2.	Puitvõrkkooriku analüüs.....	49
3.	KATSETULEMUSED JA ANALÜÜS	52
3.1.	Paindekatsete tulemused ja analüüs	52
3.1.1.	V-seeria paindekatsete tulemused	52
3.1.2.	S-seeria paindekatsete tulemused	54
3.1.3.	Paindekatsete analüüs	57
3.2.	Survekatsete tulemused ja analüüs	60
3.2.1.	Survekatsete tulemused	60
3.2.2.	Survekatsete analüüs.....	62
3.3.	Märketapi katsete tulemused ja analüüs	63
3.4.	Lattide omavahelise ühenduse katsete tulemused ja analüüs	66
3.4.1.	Lattide omavahelise ühenduse katsete tulemused	66
3.4.2.	Lattide omavahelise ühenduse katsete analüüs	68
3.5.	Katsekehade mikroskoobiga uurimise tulemused ja analüüs	68
3.6.	LEM programmiga saadud tulemused ja analüüs.....	72
	KOKKUVÕTE	76
	KASUTATUD KIRJANDUS	79

STRENGTH TESTS OF DIFFERENT WOOD SPECIES GLULAM BARS AND MODELLING A MOUNTABLE GRID SHELL FROM THEM.....	82
LISAD	85
Lisa 1. Puiduliimi Eskaro B3 sertifikaat ja tootekirjeldus.....	86
Lisa 2. Katsekehade liimimiste protokoll	93
Lisa 3. V-seeria paindekatsete protokoll	99
Lisa 4. S-seeria paindekatsete protokoll	102
Lisa 5. Survekatsete protokoll	106
Lisa 6. Märketapi katsete protokoll	109
Lisa 7. Lattide omavahelise ühenduse katsete protokoll	110
Lisa 8. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	114

SISSEJUHATUS

Puit on väga oluline ehitusmaterjal nii Eestis kui ka mujal maailmas. Tänu tänapäevastele tehnoloogiatele ja peaaegu piiramatutele tootmisvõimalustele saab puitu kasutada järjest suurejoonelisemate ehitiste püstitamisel. Puit on kergesti kättesaadav, puitu on lihtne töödelda, puit on võrreldes metalli ja betooniga odavam ja puit on väga keskkonnasõbralik ehitusmaterjal.

Eesti on metsade arvukuse ja kogupindala (51 % maismaa koguminnast) poolest kogu maailmas esimeste seas ning lisaks okaspuidule kasvab Eesti metsades ka hulgaliselt lehtpuud, mida võiks samuti ehituskonstruksioonides kasutada (Eesti metsavarud 2016). Eestis raiutud puitmaterjal tuleb vääridada siin samas Eestis ning seejärel turustada siseturul või müüa välja. Käesolevas magistritööga käsitletud teema ning veel täpsemalt toode annab selleks hea võimaluse.

Magistritöö teema valik oli autorile lihtne, sest kogu õpingute ajal on olnud mõte, et lõputöö peaks kindlasti puiduga seotud olema. Just selline suund, mis kajastab endas suuresildelisi ehitisi ning koorikkonstruksiooni lahendamist puiduga pakkus huvi ning võis kindel olla, et tuleb põnev viimane semester. Kindlasti oli oluline roll ka varasma õppeaine „Tootmishoonete projekteerimine“ kursuseprojekti ülesandel, kus ehitise katusekonstruksioon tuli lahendada puitvõrkkoorikuga.

Puitkoorikuks, täpsemalt käesolevas lõputöös käsitletavaks puitvõrkkoorikuks võib nimetada konstruksiooni, kus puitlattide (sale puittala) risti asetamisel saadakse võrgustik, millele antakse ehitamise käigus positiivne või negatiivne kõverus ja valdav osa koormustest võetakse vastu pikijõududega. Praegu on olukord, kus puitvõrkkoorikute projekteerimine ja püstitamine on väga keeruline ning seetõttu ka ehitusvaldkonnas vähe kasutatud. Käesolev lõputöö kontrollib lahendust, mis lihtsustab puitvõrkkoorikute projekteerimist ja püstitamist.

Lõputöö eesmärk on koostada ja katsetada peamiselt lehtpuuliikidest valmistatud puitlamellide kokku liimimisel saadud katsekehasid. Katsekehade koostamisel kasutatakse erinevaid puiduliikide kombinatsioone. Lisaks tavalisele pressis all liimimisele teostatakse S-seeria

katsekehade puhul ka puitlamellide üksteise suhtes nihutamise liimimise ajal nõrga pressingu all, mis tekitab liimpuitlati ühte otsa tapikeele ja teise otsa tapipesa, mis võimaldab latte üksteise otsa kergesti monteerida. Lamellide nihutamise üksteise suhtes suurendaks liimühenduse naket ja tugevust, mis mõjutab kogu liimpuitlati tugevusnäitajaid. Kindlasti saab kavandatav materjal olema tugevam ja elastsem kui tavaline massiivpuit.

Katsetustes saadud tulemuste võrdlemiseks modelleeritakse ka konkreetse näite põhjal puitvõrkkoorik ning see koormatakse lõplike elementide meetodi põhjal arvutiprogrammis. Saadud sisejõudusid võrreldakse katsetulemustega. Lisaks uuritakse purustatud katsekehade näidiseid valgus- ja elektronmikroskoobiga.

Lõputöö esimeses peatükis on kirjeldatud võrkkoorikute põhimõtteid ning peamisi eeliseid ja ka puudusi. Lisaks kirjeldatakse tavalise liimpuidu olemust ja võimalusi. Tuuakse näiteid maailmas edukalt püstitatud puitvõrkkoorikutest. Teises peatükis on kirjeldatud katsekehade koostamist ja kõike sellega seonduvat. Kirjeldatud on ka katsemetoodikaid ning modelleerimise metoodikat. Kolmandas peatükis esitatakse nii katsete kui ka modelleerimise tulemused ja analüüsitakse neid.

Autor tänab juhendajat Tõnis Teppandit, kelle ideele kogu käesolev magistritöö põhineb ja kes osales ka katsekehade valmistamises ning katsetamisel. Tänan ka Siim Teppandit, kes aitas kaasa rakiste projekteerimisel ja katsekehade valmistamisele. Tänan Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituudi Maaehituse ja Metsatööstuse osakonda, kelle katseseadmeid, laboreid ning tökodasid sai autor kasutada. Täpsemalt tänan ka Metsatööstuse osakonna õppejõudu Regino Kaske, kes selgitas katseseadme INSTRON 3369 põhimõtteid ja aitas mõned katsed läbi viia. Kindlasti avaldan tänu Prantsusmaal, Nantes'is asuva puiduteaduse ja – tehnoloogia ülikooli Ecole Supérieure du Bois'i teadusosakonna õppejõududele Mark Irle'le, kes aitas läbi viia uuringuid elektronmikroskoobiga ja Francesca Lanata'le, kes aitas kogu sealviibimist korraldada. Suur tänu ka Ecole Supérieure du Bois'i doktorandile Julia Buchner'ile, kes aitas elektron- ja valgusmikroskoobiga ja üliõpilasele Pierre Duval'ile, kes organiseeris kõik vajalikud tökodade, katseruumide, seadmete ning tööriistade kasutamise võimalused ning osales ka S-seeria paindekatsete teostamisel.

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS

1.1. Koorikkonstruksioon ja võrkkoorik

Koorikkonstruksiooniks nimetatakse kahe kõverpinnaga piiratud konstruksioonielementi, mille paksus on võrreldes teiste mõõtmetega väiksem (Tärno 2000: 53). Koorikkonstruksioonide peamisteks eelisteks on väike materjalikulu ja omakaal, aga sealjuures on võimalik sillata suuri avasid. Lisaks on väga oluline see, et koormused kantakse tugelele suures osas piki- ja nihkejõudude kaudu ning painde- ja väändemomendid ning põikjõud on tunduvalt väiksemad (Harris et al. 2004). Koorikkonstruksioonide suurimaks puuduseks võib lugeda püstitamise keerukust, sest koorikkonstruksioon hakkab täisväärtuslikult tööle alles siis, kui kogu konstruksioon on paigas, ning see eeldab mahukat ajutiste tuge süsteemi (Harris et al. 2004).

Koorikkonstruksioone võib esineda erineva ülesehituse ja vormiga (Harris et al. 2004). Koorikkonstruksiooni, millesse on moodustatud korrapärased avad ning allesjäänud konstruksioon on selle võrra tugevam, nimetatakse võrkkoorikuks (Harris et al. 2004). Tõelist massiivkoorikkonstruksiooni ei ole võimalik massiivpuidust moodustada, sest tegemist on anisotroopse materjaliga, mis tähendab, et tema omadused materjali erinevates suhtides on erinevad (Harris et al. 2004). Puitkoorikkonstruksiooni, mis on alati moodustatud kolmemõõtmelise sõrestikkonstruksioonina, võib kutsuda ka võrkkoorikuks (Harris et al. 2004).

1.2. Suuresildelised puitehitised

Puitu võib lugeda väga sobilikuks materjaliks suurte ehitiste püstitamiseks ja suurte avade sildamiseks, sest puidul on väga palju eeliseid, mida teiste materjalide puhul võib vähem täheldada. Peamiseks puidu positiivseks omaduseks on tema kergus ja sealjuures omab puit väga

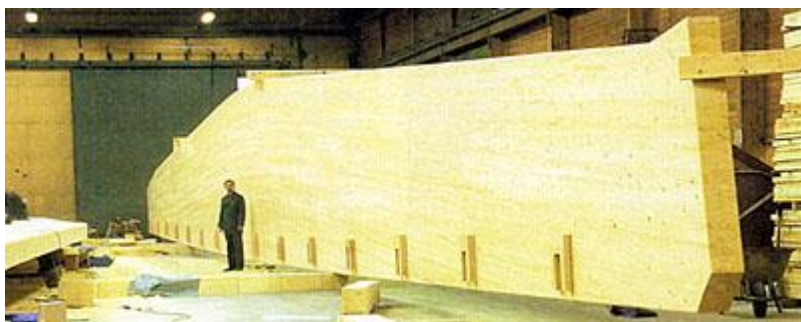
head kandevõime ja omakaalu suhet. Lisaks on puidul veel terve loetelu häid omadusi, mille hulgas võib esile tõsta näiteks puidu käitumist tulekahjus. Puit on väärtuselt väga esteetiline ja maalähedane ning puit ei roosteta ja ei ole ka oluliseks külmasillaks (Suured puitehitised 2009).

1.2.1. Liimpuit

Liimpuit koosneb puitlamellidest ja reeglina ühekomponentsest poliüuretaanliimist (Suured puitehitised 2009). Liimpuiduks võib nimetada paralleelselt kiudude suunaga kokku liimitud puitlamellidest ehituselementi. Liimpuidu kasutusvaldkond ehituses on väga laialdane. Liimpuidust saab toota talasid, poste, plaate, sõrestikke jms. Liimpuidu üheks suureks eeliseks on praktiliselt piirangute puudumine kujus (vt joonis 1.1) ja suuruses (vt joonis 1.2).



Joonis 1.1. Keeruka kujuga liimpuittala (Suured puitehitised 2009)



Joonis 1.2. Suuremõõtmeline liimpuittala (Suured puitehitised 2009)

Lisaks on liimpuidu puhul võimalik erinevate puidulamellide tugevusnäitajate varieerimisel moodustada väga erineva käitumise ja sihtotstarbega ökonoomseid konstruktsioonielemente (Suured puitehitised 2009). Ühe näitena võib tuua joonisel 1.3 kujutatud Tacoma kuppelhalli, kus katusekonstruktsiooni lahendamisel on kasutatud liimpuidust võrkkoorikut (Suured puitehitised 2009).



Joonis 1.3. Liimpuidust võrkkoorikuga Tacoma kuppelhall (Suured puitehitised 2009)

Tänu liimpuidu lõpmatutele võimalustele on see väga sobilik materjal puitvõrkkoorikute püstitamiseks. Kui võtta liimpuidu valmistamisel kasutusele ka okaspuidust tugevamad lehtpuu liigid, siis on võimalik luua väga tugevaid ja saledaid konstruktsioone.

1.3. Puidust võrkkoorikud

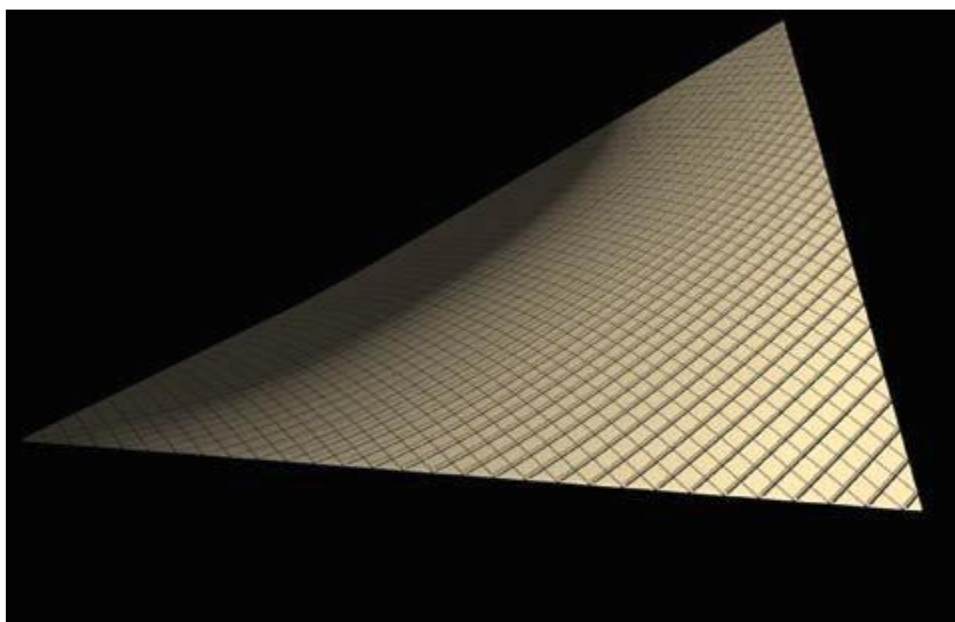
Puitelementidest ehk puitlattidest on võimalik valmistada soovitud kujuga risti lamineerimisel (risti asetatud puitlatid) eriti soodsaid võlvikujulisi koorikkonstruktsioone (Mäkipuro 2007: 28). Laialdasemalt on seda tehnikat kasutatud mööblitööstuses ning paatide valmistamises, kuid ehitustehnikas väga vähe (Mäkipuro 2007: 28). Peamisteks põhjusteks on puidust võrkkooriku

keerukas modelleerimine ja veelgi raskem püstitamine (Mäkipuro 2007: 28). Tegelikult võidakse eelnimetatud konstruktsiooni kasutades nii konstruktsiooni materjali mahus kui ka omakaalus (Mäkipuro 2007: 28).

Puidust võrkkoorikute modelleerimisel on kaks peamist lahendust: hüperboolne paraboloid ehk sadulpind ja kuppel/toruspind (Mäkipuro 2007: 28).

1.3.1. Hüperboolne paraboloid ehk sadulpinnaline võrkkoorik

Käesoleva koorikvormi tavaline omadus on pinna kõveruste erimärgilisus kahes üksteise vastas olevas suunas (Mäkipuro 2007: 28). Kooriku pinnas tekib olukord, kus kooriku kihid on ühes suunas tõmmatud ja teises suunas surutud, mis mõjub koorikule hästi, sest tõmmatud osa stabiliseerib surutud osa ja mõjuvad koormused kompenseerivad teineteist (Mäkipuro 2007: 28). Hüperboolset paraboloidi on kõige enam kasutatud ruudukujulise põhiplaani puhul (vt joonis 1.4), kus vähemalt üks ruudu nurkadest on ülespoole tõstetud või allpoole viidud (Mäkipuro 2007: 29). See on puitehituses üks põhikoorkuid, sest sobib selleks puidule iseloomulike vormi- ja vastupidavusomaduste poolest suurepäraselt (Mäkipuro 2007: 29).



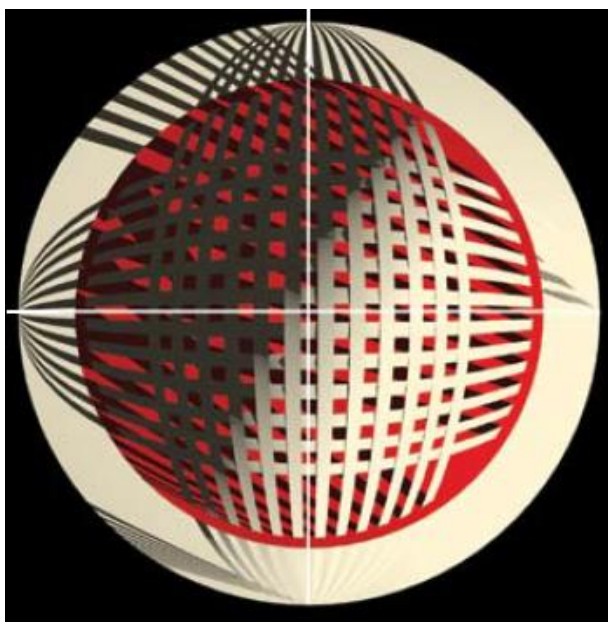
Joonis 1.4. Ruudukujulise põhiplaaniga paraboolne hüperboloid (Mäkipuro 2007: 28)

Peamiseks eeliseks hüperboolse paraboloidi ehk sadulpinnaga võrkkoorikute puhul on stabiilsus, mis saavutatakse sellega, et kooriku kõverusraadiused paiknevad koorikpinna vastaspooltel (Mäkipuro 2007: 29). See tähendab seda, et tõmmatud kiht takistab surutud kihi stabiilsuse kaotust (Mäkipuro 2007: 29). Hea omadus on ka see, et üldiselt on väiksemõõtmeliste hüparkooriku teostus lihtne ja selge ning on teostatav ka väiksemate ametioskuste puhul (Mäkipuro 2007: 29).

Peamiseks puuduseks hüperboolse paraboloidi ehk sadulpinnaga võrkkoorikute puhul on suured vormimuutused ebasümmeetriliste koormuste korral, näiteks ühele poole sadava lume või tuule mõjul (Mäkipuro 2007: 30).

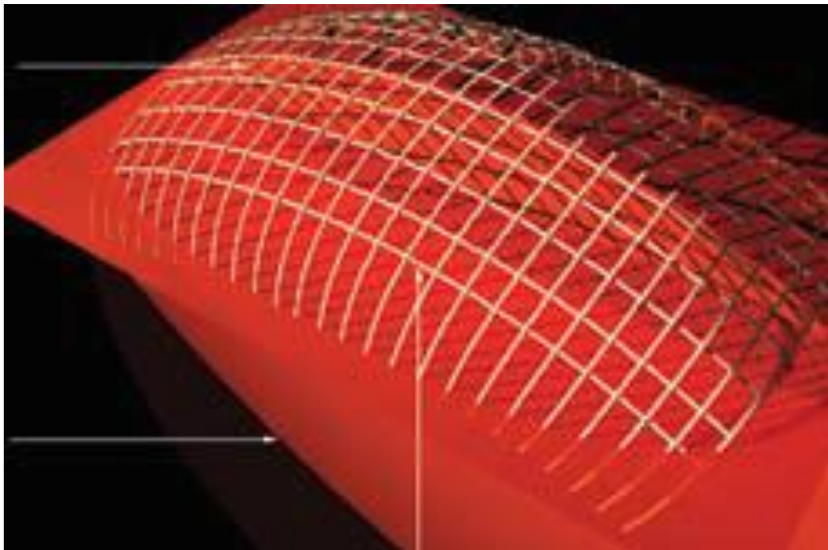
1.3.2. Kuppel- ning toruspinnaline võrkkoorik

Nimetatud koorikuvormid on kõige levinumad koorikkonstruksioonid, ka puitkonstruktsioonide valdkonnas (Mäkipuro 2007: 30). Kuppelkooriku peastruktuuri moodustavad kupli tugipunktidest väljuvad kaared, mis toimivad kooriku kandjate ja jäigastajana (vt joonis 1.5) (Mäkipuro 2007: 30).



Joonis 1.5. Kuplikujulise puitvõrkkooriku kaarte paigutus (Mäkipuro 2007: 30)

Toruspinnalise võrkkooriku moodustamine toimub ringjoone keerdumisel omal tasemel ümber endast väljaspool asetseva sirge ning tulemuseks on auto rehvi meenutav pind (vt joonis 1.6) (Mäkipuro 2007: 31). Sellist vormi saab kasutada ideaalselt suuremõõtmeliste hallide koorikudelina (Mäkipuro 2007: 31).



Joonis 1.6. Toruspinna geometria näitlikustatud kujul (Mäkipuro 2007: 31)

Peamiseks eeliseks kuppel- ning toruspinnaliste võrkkoorikute puhul on suuresildeliste avade katmine, sealjuures vähese materjalikulu ning omakaaluga (Mäkipuro 2007: 32). Lisaks võib välja tuua ka valmistustehnoloogia lihtsust tulenevalt osade elementide identsusest (Mäkipuro 2007: 32). Toruspinnalise võrkkooriku puhul on võimalik moodustada ka erineva kuju, suuna ja kõrgusega konstruktsioone (Mäkipuro 2007: 32).

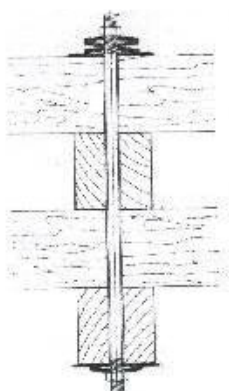
Põhiliseks puuduseks kuppel- ning toruspinnaliste võrkkoorikute puhul on toesõlmede lahendus, mis on sageli terasest ja tuleb paigaldada eraldi (Mäkipuro 2007: 32).

1.4. Puidust võrkkoorikute sõlmed

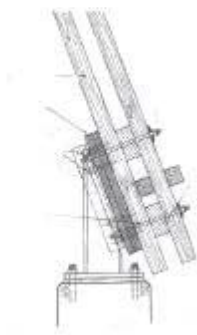
Võrkkooriku konstruktsioonis on väga palju sõlmi ja seega on sõlme lahendus üks kõige tähtsamaid osi kogu konstruktsiooni funktsionaalse ja ökonoomse töötamise juures (Harris et

al. 2004). Võrkkooriku püstitamisel peavad kasutatavad latid (massiiv- või liimpuidust saledad võrkkooriku kandvad elemendid) saama sõlmedes pöörduda ning samuti peavad paralleelsed kihid saama nihkuda üksteisest sõltumatult (Harris et al. 2004). Kui kogu konstruktsioon on paigas, võib sõlmed omavahel jäigalt ühendada, mis tagab löikejõudude parema jaotumise paralleelsetele kihtidele ning see omakorda tagab sõrestiku ühtse töö (Harris et al. 2004).

Mannheim'i mitmeotstarbelise hoone puitvõrkkoorikul on 33 000 sõlme (Happold, Lidell 1975). Kõik kasutatavad puitlatid paigaldati kasutades tellinguid (Happold, Lidell 1975). Läbi puitlattide paigaldati poldid, kusjuures sisemiste kihtide poldiaugud olid tavalised, mis võimaldasid pöördumist, aga välimiste kihtide augud olid pikendatud poldiaugud, mis võimaldasid lisaks pöördumisele ka puitlattide omavahelist nihkumist (vt joonis 1.7) (Happold, Lidell 1975). Toesõlm on lahendatud teraskandjaga, kuhu kinnitatakse puidust latid poltidega (vt joonis 1.8) (Happold, Lidell 1975).

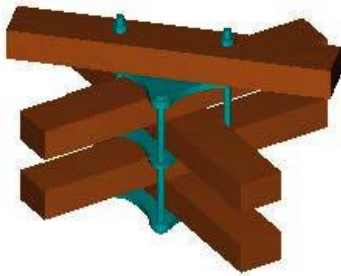


Joonis 1.7. Mannheim'i mitmeotstarbelise hoone puitvõrkkooriku sõlm (Happold, Lidell 1975)



Joonis 1.8. Mannheim'i mitmeotstarbelise hoone puitvõrkkooriku toesõlm (Happold, Lidell 1975)

Downland'i puitvõrkkooriku sõlmelahenduse puhul töötati välja patenteeritud klamber (vt joonis 1.9), mis võimaldab puitlatte omavahel ühendada selliselt, et välditakse augu puurimist puitlattidesse (Harris et al. 2004). Sellise lahenduse suureks eeliseks on see, et jääb ära puitlattide ristlõike nõrgestamine puuritud auguga (Harris et al. 2004).



Joonis 1.9. Downland'i puitvõrkkooriku sõlm (Harris et al. 2004)

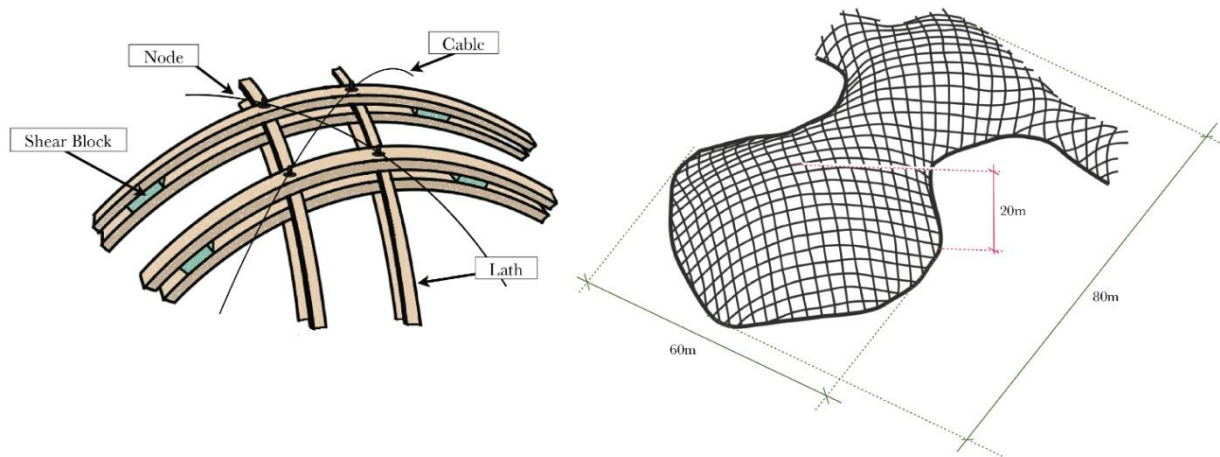
Patenteeritud klamber koosneb kolmest terasplaadist, kus keskmisel terasplaadil on mõlemal pool terasnaigel, mis surutakse keskmiste puitlattide sisse, seega toimib sama põhimõtte nagu poltühendusegi puhul - sisemised puitlatid saavad omavahel pöörduda ning välimised puitlatid saavad nii pöörduda kui ka nihkuda (Harris et al. 2004).

1.5. Maailmas püstitatud suuresildelised puitvõrkkoorikud

Erinevaid väiksesildelisi võrkkoorikuid nii puidust kui ka muudest materjalidest on üle maailma ehitatud palju (Lidell 2015). Võrkkoorikute ajalugu ulatub 1896. aastasse, kui Venemaal püstitati esimene teraskonstruksiooniga võrkkoorik (Lidell 2015). Esimeseks suuresildeliseks puitvõrkkoorikuks oli Mannheim'i mitmeotstarbeline hoone Saksamaal, mis on üks omanäolisemaid lahendusi ning mille konstruktoriks ja arhitektiks oli insener Frei Paul Otto, kes on võrkkooriku arenguloos suurt rolli mänginud ning paljud püstitatud võrkkoorikud põhinevad just tema uurimustöödel (Lidell 2015).

1.5.1. Mannheim'i puitvõrkkoorik

Mannheim'i puitvõrkkoorik on esimene suuresildeline puitvõrkkoorik, mis püstitati 1975. aastal Saksamaal Mannheim'i aiandusnäituse jaoks (Mannheim multihalle 2013). Kooriku autoriks oli saksa arhitekt ja insener Frei Otto, kes valis konkreetse puitvõrkkooriku välja mitmetest rippuvate kettidega mudelitest (Mannheim multihalle 2013). Puitvõrkkoorik on 80 meetrit pikk ja 60 meetrit lai, samas ei ole tegemist korrapärase kujuga koorikuga (vt joonis 1.10) (Happold, Lidell 1975). Võrkkooriku puitlatid (lath) on valmistatud läänetsuuga puidust. Puitlattide ristlõikenähtena kasutati 50x50 mm ja need paiknevad neljas kihis, sõlmede (node) omavaheline kaugus 500x500 mm (Happold, Lidell 1975). Lisaks kasutati seal põikjõu paremaks edasi kandmiseks ka põikjõu klotse (shear block) ning konstruktsiooni jäigastamiseks teraskaableid (cable) (Happold, Lidell 1975).



Joonis 1.10. Mannheim'i puitvõrkkoorik (Happold, Lidell 1975)

1.5.2. Saville Garden'i puitvõrkkoorik

Saville Garden'i puitvõrkkoorik on samuti üks märkimisväärsmaid koorikkonstruktsioone kogu maailmas (Harris, Roynon 2008). See püstitati 2008. aastal Windsor'i, Inglismaale (Harris,

Royon 2008). Puitvõrkkooriku autoriks on arhitekt Buro Happold ja insener Haskins Robinson Waters (Riistop 2008). Võrkkoorik on 90 meetrit pikk ja 25 meetrit lai ning ka selle kooriku puhul on tegemist ebakorrapärase vormiga, mis on arhitektuurselt väga õnnestunud (vt joonis 1.11) (Riistop 2008). Võrkkooriku puitlatid on valmistatud lehise puidust ning puitlattide ristlõikena kasutati 50x80 mm ja need paiknevad neljas kihis (Riistop 2008). Sõlmede omavaheline kaugus 1000x1000 mm (Riistop 2008). Selle hoone puhul on koorikkonstruksiooni kasutatud ainult katusena, mis võimaldas puitlattide kihte püstitada kahes osas (Harris, Royon 2008).



Joonis 1.11. Saville Garden'i puitvõrkkoorik (Harris, Royon 2008)

2. METOODIKA

2.1. Puitvõrkkooriku modelleerimine

Käesoleva magistritöö puitvõrkkooriku modelleerimine on seotud varasemalt 2016/2017 sügissemestril läbitud õppeainega „Tootmishoonete projekteerimine“. Eelnimetatud õppeaines sai kursuseprojekti ülesandeks koostada Eesti Maaülikooli spordikompleksi jäähall/hokiareen. Lähteülesanne nägi ette projekteerida ühe peaväljakuga ning ühe harjutusväljakuga hokiareen ning pealtvaatajate tribüünid. Tulenevalt väljakute mõõtmetest ja tribüünide ning abiruumide hõlmatavast pindalast sai selgeks, et projekteeritava hoone katusekonstruktsioon peab katma väga suuri sildeid. Sealt tekkis mõte kaks olulist õppetöö elementi ühendada.

Puitvõrkkooriku mõõtmete ja kuju määramisel on lähtutud hokiareeni ehitusalusest pinnast ning tulevase kasutatavast materjalist. Kooriku kujuks on valitud toruspinnalise geomeetriaga puitvõrkkoorik. Esmasel modelleerimisel on kasutatud standardis EVS-EN 338:2016 „Ehituspuit. Tugevusklassid.“ toodud tugevus- ning jäikusomadusi. Kuna kasutatavaks puitmaterjaliks on kavandatud kombineeritud ristlõikega liimpuitlatid, kus peamiselt on esindatud lehtpuuliigid (vt joonis 2.1), siis keskendume puitvõrkkooriku esmasel modelleerimisel standardi EVS EN 338 lehtpuuliikide tugevus- ja jäikusomadustele.

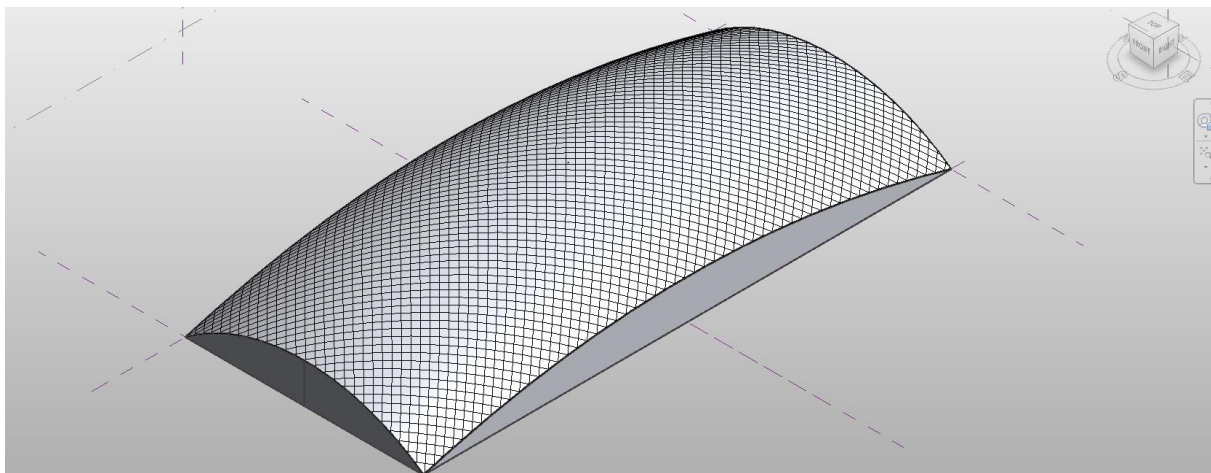
2017 Conceptual mass metoodika võrkkooriku loomisel on järgmine (Autodesk Revit learn & explore 2017):

- 1) programmi Autodesk Revit 2017 avamine ja Conceptual Mass tööriista valik;
- 2) iseloomulike töötasapindade loomine, vastavalt kooriku geomeetrialet;
- 3) seejärel valitakse töötasapind, kuhu joonestatakse soovitud kujundi profiil;
- 4) korraldatakse eelmist punkti erinevate profiilide olemasolul nii kaua, kuni kõikidel loodud tasapindadel on soovitud profiilid;
- 5) seejärel valitakse kõik loodud profiilid ning luuakse vorm, mis tähendab, et programm ühendab profiilid ühtseks massiks;
- 6) massile saab lisada uusi profiile kõikides sihtides (x;y;z), mida varem ei defineeritud, see võimaldab saadud kujundit modifitseerida ning luua vajalikud raadiused;
- 7) seejärel tuleb valida soovitud kõverustega pind ning muuta see sobivaks võrgustikuks (võimalik on valida võrgustiku sammu ja kujundit);
- 8) saadud võrgustiku saab eksportida Autodesk Revit 2017 Structure keskkonda, kus saab juba defineerida soovitud materjale.

Käesoleva magistritöö raames modelleeritud puitvõrkkooriku projektsiooni mõõtmed tulenevalt hokiareeni mõõtmetest on 108,9 x 49,0 m. Puitvõrkkoorikust katusekonstruktsiooni kõige väiksem raadius on 41,5 m ning suurim raadius on 186,3 m. Koorik koosneb neljast kombineeritud ristlõikega liimpuitlati kihist. Tegemist on konstruktsiooniliselt sarnase ülesehitusega Mannheim'i puitvõrkkoorikuga (Happold, Lidell 1975). 80 x 80 mm kombineeritud ristlõikega latid moodustavad pealt vaadates rombikujulise jaotuse.

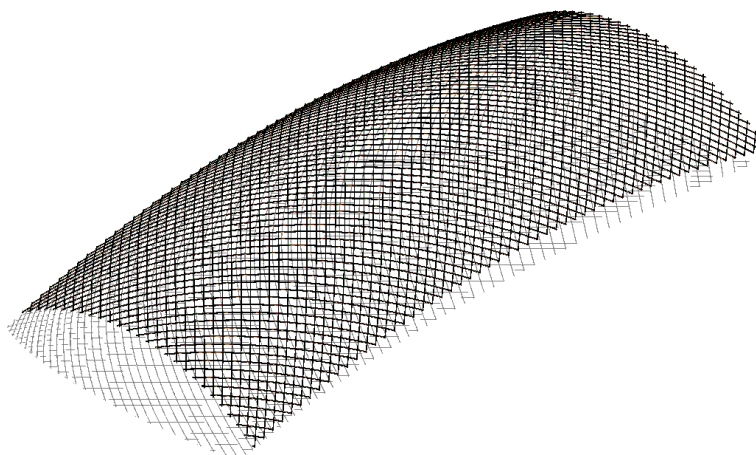
Varasemalt on puitvõrkkoorikute lattide sammu määramisel peamiselt mõeldud ehitustöölise turvalisuse peale ning seega on paljudes puitvõrkkoorik konstruktsioonides lattide sammuks selline suurus, mis takistaks ehitustöölise mahtumist läbi „võrgu silma“ (Happold, Lidell 1975). Tänapäeval on võimalik turvalisus tagada turvarakmete ja turvakaablitega, mis võimaldab puitvõrkkoorikute lattide sammu suurendada ja seega paraneb ka materjali ökonoomsus. Modelleeritud lahenduses on lattide esialgseks sammuks määratud 1,2 m, mis võimaldab uuest kombineeritud ristlõikega liimpuitlatist paremat omakaalu-tugevuse suhet saavutada.

Vastavalt varasemalt kirjeldatud Autodesk Revit 2017 sammudele modelleeriti Coceptual Mass tööriistaga 108,0 x 49,0 m projektsiooniga ning väikseima raadiusega 41,5 m ja suurema raadiusega 186,3 m pind. Pinnale valitud rombikujulise jaotusega võrgustiku paralleelsete joonte samm on 1,2 m. (vt joonis 2.2)



Joonis 2.2. Autodesk Revit 2017 Conceptual Mass tööriistaga loodud puitvõrkkooriku pind. (Autori joonis)

Seejärel eksporditi saadud pind Autodesk Revit 2017 Structure keskkonda, kus eemaldati ruumiliselt kujundilt ebavajalikud elemendid nt küljed ja põhi. Järgmisena tekitati varasemalt valminud pinnale mudeli lihtsustamise mõttes kaks kihti kombineeritud ristlõikega liimpuitlatte (Autodesk Revit learn & explore 2017). Lattidele defineeriti 80 x 80 mm D70 tugevusklassiga lehtpuidu materjal (vt joonis 2.3).



Joonis 2.3. Autodesk Revit 2017 Structure keskkonnas koostatud puitvõrkkooriku kuju. (Autori joonis)

Hiljem eksporditakse Autodesk Revit 2017 Structure keskkonnas loodud mudel lõplike elementide arvutusprogrammi Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Eelnimetatud arvutiprogrammis sooritatakse tugevusarvutused ning genereeritakse puitvõrkkoorikus tekkivad sisejõud. Saadud tulemusi võrreldakse katsetatavate kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide tugevus- ja jäikusomadustega.

2.2. Katsekehade eeltööd

2.2.1. Katsekehade materjal

Kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide koostamisel kasutatakse ühtekokku kuute erinevat puiduliiki. Kasutust leidsid järgmised puuliigid: tamm, saar, haab, kask, must lepp ja kuusk. Loetelus viimasena nimetud kuusk ei kuulu erinevalt teistest lehtpuude hulka ja kuuske on kasutatud ainult ühe seeria ühe kombinatsiooni katsekehades, mis on koostatud võrdlemiseks täielikult lehtpuu liikidest koostatud katsekehadega. Seega võib öelda, et koostatud katsekehades on okaspuitu vähe kasutatud.

Katsekehade koostamisel on peamiselt kasutatud just lehtpuitu, sest Eesti metsades kasvab lisaks okaspuudele ka hulgaliselt lehtpuid, mida võiks samuti ehituspuiduna kasutada (Eesti metsavarud 2016). Liimpuitlattice koostamisel kasutatakse maksimaalselt 70 x 10 mm ristlõikega lamelle ja suurem osa kasutatud lamellidest on veelgi väiksema ristlõikega, mis võimaldab osaliselt tootmisjääke kasutada.

Kombineeritud ristlõikega liimpuitlattice koostamiseks vajalik materjal on ostetud kohalikult saematerjaliga tegelevalt ettevõttelt ning kogu materjal, peale tamme, on Eestis kasvanud ja saetud. Materjali ostu rahastas 50 % ulatuses Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Maaehituse osakond ning 50 % ettevõtte Architrav OÜ. Ostetud materjaliks oli enamjaolt ristkülikulise ristlõikega töötlemata plangud. Materjali pikkus oli ca 3000 mm ja olenevalt puiduliigist ristlõike laius ca 94...208 mm ning kõrgus 25...50 mm. (vt joonis 2.4)



Joonis 2.4. Osaliselt töödeldud katsekehade materjal. (T.Teppand'i foto 2017)

2.2.2. Puitlamellide töötlemine

Katsekehade valmistamiseks tuli ostetud saematerjali väga suures mahus töödelda, et saada vajaliku ristlõike ja pikkusega lamellid. Vajalikud saagimised ja hõõveldamised toimusid Eesti

Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Metsatööstuse osakonna puidutöökojas, Architrav OÜ ruumides ja osaliselt ka Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Maaehituse osakonna ehituskonstruksioonide laboris.

Võimalikult täpsete mõõtmetega lamellide saamiseks teostati kogu materjaliga viis töövõtet, millele eelnes materjali optimeerimine, mis tagas võimalikult ökonoomse materjalikasutuse. Esimene töövõtte oli ostetud materjali järkamine. Esialgselt ca 3 m pikkused plangud saeti kaheks ca 1,5 m pikkuseks tükiks, selline pikkuse valik tulenes eelkõige tulevaste lamellide soovitud pikkusest (1,4 m), mis omakorda oli seotud paindekatseseadme võimekusega. Edasine tegevus hõlmas endas rihthöövli saematerjali kahe külje tasapinnaliseks ja omavahel täisnurga alla hõöveldamist. Rihthöövli kasutamise puhul on vajalik eelnev puitplangu kõveruse ja puidukiu suuna hindamine, et valida hõöveldamise õige külg ja suund, mis tagaks puhta pinna ning materjali minimaalse kao.

Järgnevalt teostati täisnurga alla hõöveldatud materjali laiuse saagimine formaatsaega. Kui lõplikud soovitud lamelli laiused olid 20; 30; 50 ja 70 mm, siis saagimisel fikseeriti materjali piiraja laiusele 22; 32; 52 ja 72 mm. Selline laius saagimisel valiti põhjusel, et puit sisaldab endas pingeid, mis saagimisel vabanevad ning see mõjutab lokaalselt materjali laiust. Lisaks oli arvestatud ka sellega, et tegemist oli enamjaolt tugeva lehtpuu saagimisega pikikiudu, mis on nii saele kui ka saekettale koormav ja see võis samuti materjali laiust mõjutada. Edasi lasti saetud materjal läbi paksushöövli, kus esimesel hõöveldamisel määrati hõöveldamise paksuseks 21; 31; 51 ja 71 mm. Seejärel keerati materjali 180° ning hõöveldamise paksuseks määrati 20; 30; 50 ja 70 mm.

Täpselt samu töövõtteid kasutati ka materjali paksuse saagimisel formaatsaega, kus piiraja fikseeriti kõikide lamellide puhul 12 mm peale (vt joonis 2.5). Pärast saagimist teostati lamellide paksuse hõöveldamine esmasel paksusel 11 mm ning teisel paksusel 10 mm. Viimase töövõttena teostati kõikide soovitud laiuse (20; 30; 50 ja 70 mm) ja paksusega (10 mm) lamellide vajalikku pikkusesse (1400 mm) saagimine lauasaal. Kuna mahalõigatav osa oli ca 100 mm, siis see võimaldas veel viimase lamellide kvaliteedikontrolli, kus sai mõjutada näiteks oksakohtade või muude puidukahjustuste välja lõikamise lamellide otsdest.



Joonis 2.5. Lamellide paksuse saagimine EMÜ MMI Metsatööstuse osakonna puidutöökojas. (T.Teppand'i foto 2017)

2.3. Katsekehade koostamine

2.3.1. Rakised katsekehade liimimiseks

Tavapärase liimpuidu valmistamisel liimitakse eelnevalt töödeldud lamellid omavahel kokku ainult ühes sihis, seega piisab sellest, kui ühel pool liimitavat elementi on kohtkindel tugi ja teiselt poolt elementi toimub lamellide kokku surumine. Selliselt võib elementide kokku liimimist teostada kas vertikaalselt või horisontaalselt, olenevalt liimpuittoodete kujust ja kasutusotstarbest. (EVS-EN 14080)

Käesolevas magistritöös käsitletud kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide puhul ei piisa liimimisel ainult kahe toe olemasolust. Kuna materjal koosneb kõigist neljast küljest liimitud puitlamellidest, siis vajaliku survestatud kontaktpinna loomiseks kõikide lamellide ja liimi vahel

on oluline, et kõik neli külge oleksid samaväärselt toetatud. Katsekehade koostamise käigu kohta koostatakse raport (Nurme, Teppand T., Teppand S. 2017).

Vajaliku toetuse saavutamiseks projekteeris ja tellis ettevõtte Architrav OÜ terasrakised, mis võimaldasid katsekehade liimisel tagada kõigi nelja külje võrdset surumist. Terasrakised koosnevad alumisest ja ülemisest osast, mis mõlemad on 2200 mm pikad. Alumise osa peamiseks elemendiks on võrdkülgne nurkteras 120 x 10 mm (EVS-EN 10079:2008). Nurkterase välimisele küljele on keevitatud terastoed, mis võimaldavad nurkterast diagonaalselt toetada ning lisavad profiilile ka jäikust. Nurkterase sisekülgedele on peitpeapoltidega (M6) kinnitatud 6 mm paksused teraslehed, mis on mõeldud nurkterase sisekülgede omavahelise raadiuse kaotamiseks. (vt joonis 2.6)



Joonis 2.6. Üksteise peale asetatud alumine ja ülemine terasakis (T.Teppandi foto 2017)

Ülemise terasrakise põhielemendiks on võrdkülgne nurkteras 80 x 8 mm (EVS-EN 10079:2008). Sarnaselt alumisele osale on ka ülemise nurkterase välimisele küljele keevitatud terastoed, mis olenevalt kasutatavast pressist võimaldavad nurkterasele diagonaalselt koormust jaotada. Ka ülemise osa nurkterase sisekülgedele on peitpeapoltidega (M6) kinnitatud 6 mm

paksused teraslehed, mis on samuti mõeldud nurkterase sisekülgede omavahelise raadiuse kaotamiseks.

2.3.2. V-seeria katsekehade liimimine

V-seeria katsekehade liimimine oli esimene ja selles seerias teostati liimimisi lamelle üksteise suhtes nihutamata. Selles seerias koostatud katsekehasid võib lugeda kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide üleüldisteks esimesteks toodeteks. Käesoleva seeria peamine eesmärk oli teada saada milliseid puiduliike ja millistes kombinatsioonides kasutada, et saavutada uue materjali parimad tugevus- ja jäikusomadused. V-seerias koostati neljas erinevas kombinatsioonis kokku 8 katsekeha. Kõik katsekehades kasutatud puiduliigid, katsekehade nimetused ja kogused on toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. V – seeria katsekehade kirjeldus

Katsekeha nimetus	Kogus (tk)	Katsekeha kihid (loetuna seest välja)
V 02 KK1-1(2;3;4)	4	Kuusk
V 03 KK1-1(2)	2	Tamm, haab, kask, tamm
V 03 KK2-1(2)	2	Tamm, must lepp, tamm, saar
V 03 KK3-1(2)	2	Saar, haab, kask, saar
V 03 KK5-1(2)	2	Kask, haab, must lepp, kask

Kõik lamellide surve all liimimised toimusid Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Maaehituse osakonna ehituskonstruksioonide laboris. Kõikide liimimiste ajal jäi ruumi temperatuur vahemikku 15...18°C ning suhteline õhuniiskus 35...55%. Liimimisel kasutati vabalt kättesaadavat niiskuskindlat Eskaro B3 puiduliimi (liimi kirjeldus ja sertifikaat on toodud lisas nr 1). Liimi kanti puitlamellide pinnale 100 mm laiuse sünteetiliste karvadega pintsliga abil ning liimikihi ühtlaseks jaotumiseks töödeldi liimipinda 250 mm laiuse B2 hambaga liimikammiga.

Katsekehade liimimisel kasutatud seadmete hulka jääb Maaehituse osakonna ehituskonstruksioonide labori Konecranes 4,99 T talakraana, millega tõsteti paika ja reguleeriti

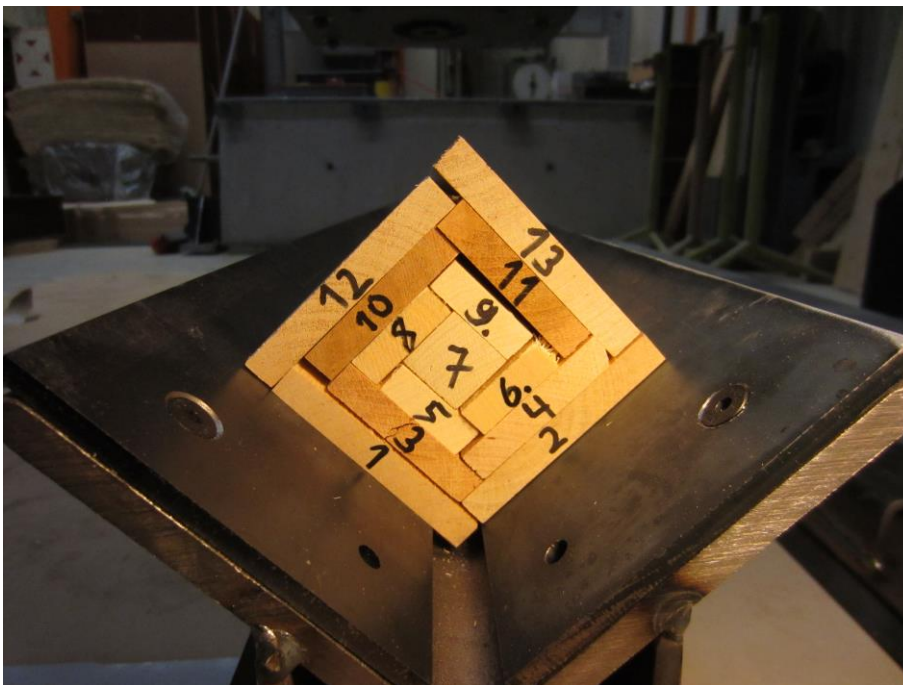
lamellide pressimiseks vajalikud terasprofiilid. Puitlamellide kokku pressimisel kasutati hüdraulilist pressi Lukas LZM 25/200, mille poolt tekitatav maksimaalne koormus on 250 kN ning maksimaalseks silindrikäiguks on 200 mm. Hüdraulilise pressi näit registreeriti andmelugeriga Ahlborn Almemo 2890-9, mis võimaldas näidu registreerida täpsusega 0,1 bar'i.

Enne katsekehade liimimist sorteeriti ja jaotati kõikide katsekehade lamellid eraldi komplektidesse, et tulevasi protsesse kiirendada. Vahetult enne liimi peale kandmist laotati ühe katsekeha lamellid puhastatud alusele kõrvuti maha. Seejärel kanti kõikide lamellide ühele laiemale küljele pintsliga liim (vt joonis 2.7) ning selle ühtlaseks jaotuseks töödeldi liimitud pinda liimikammiga.



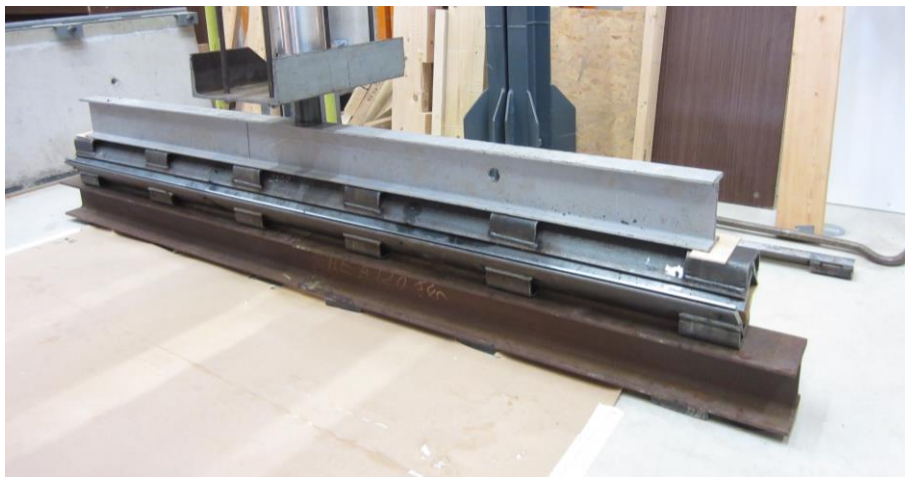
Joonis 2.7. Niiskuskindla puiduliimi Eskaro B3 kandmine puitlamellidele. (T.Teppandi foto 2017)

Liimiga kaetud lamellid asetati kindlas järjekorras ehituspaberiga kaetud (vältimaks puitlamellide liimumist terasrakise külge) alumisse terasrakisesse (vt joonis 2.8). Kindlas järjekorras paigutatud lamellid kaetakse ka pealt ehituspaberiga ning liimitud lamellide peale asetatakse pressi survet katsekehadele üle kandev ülemine terasrakis.



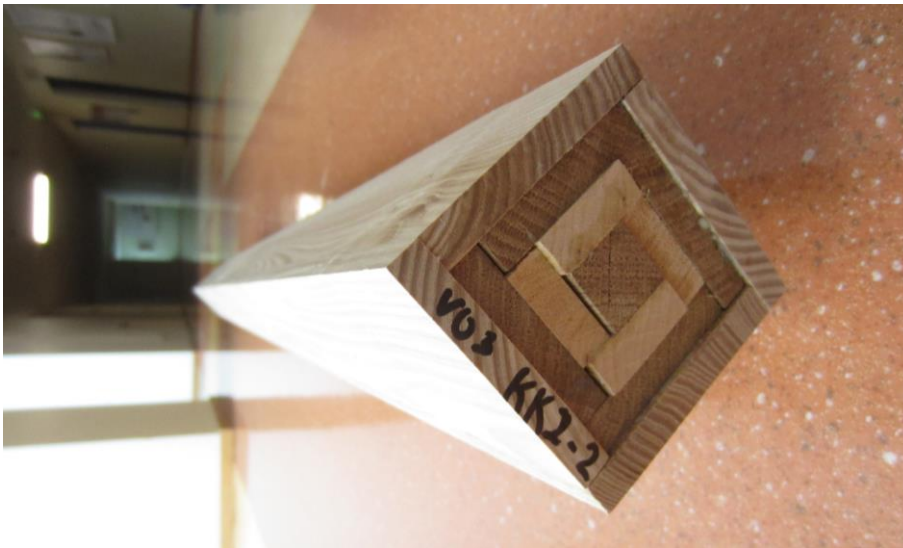
Joonis 2.8. Kindlas järjekorras paigutatud lamellid. (T.Teppandi foto 2017)

Terasrakisele asetatakse IPE 140 terasprofiil (EVS-EN 10079:2008), et jaotada hüdraulilise pressi Lukas 25/200 poolt tekitatud koondatud koormust (vt joonis 2.9). Seejärel rakendatakse IPE 140 terasprofiilile koormus 200...210 bar'i, mis võrdub ca 100 kN. Arvestades katsekeha pindala, siis rakendatakse jaotatud koormusena 0,88...0,92N/mm².



Joonis 2.10. Terasprofiili IPE 140 poolt jaotatud hüdraulilise pressi Lukas 25/200 koormus ülemisele terasrakisele. (T.Teppand'i foto 2017)

Kohe pärast koormuse rakendamist märgitakse liimimiste protokollis katsekeha nimetus, liimimise kuupäev, kellaaeg ning algselt rakendatud surve, lisaks märgitakse üles ka protsessi käiku iseloomustavad märkused ning muud tähelepanekud. Iga 15 minuti järel märgitakse üles surve vahenäit. Tunni aja möödudes vabastatakse liimitud katsekeha surve alt ja asetatakse stabiilsele ja sirgele alusele vähemalt 24 tunniks kuivama. Kõikide katsekehade liimimiste protokoll on toodud lisas nr 2. Joonistel 2.10 ja 2.11 on toodud mõni näide liimitud katsekehade kohta.



Joonis 2.10. Katsekeha V 03 KK2-2 pärast liimimist. (T.Teppand'i foto 2017)



Joonis 2.11. Katsekeha V 03 KK3-1 pärast liimimist. (T.Teppand'i foto 2017)

2.3.3. S – seeria katsekehade liimimine

Selle seeria katsekehade liimimisele eelnes hüpotees, et lamellide nihutamine üksteise suhtes liimimise ajal muudab liimühenduse tugevamaks. Lisaks on väga oluline see, et lamellide nihutamisel tekib katsekeha ühte otsa tapikeel ning teise otsa tapipesa. Eelnimetatud omadus on käesoleva magistritöö käigus kontrollitava tehnoloogia üks kõige olulisemaid aspekte, kuna selline lahendus võimaldab kombineeritud ristlõikega liimpuitlatte üksteise otsa asetada, mis lihtsustab puitvõrkkooriku püstitamist. Tuginedes varasema V – seeria katsekehade katsetustele on käesolevas S – seerias kasutatud erinevate puiduliikide kombinatsioone, mis moodustaksid potentsiaalselt parimate tugevus- ja jäikusomadustega katsekehad. Ühe katsekehade kogumi puhul on kasutatud rohkem kättesaadavamaid ja odavamaid puiduliike, et tekiks võrdlusemoment vähem kättesaadavamate ja kallimate puiduliikidega moodustatud katsekehade. S–seerias koostati neljas erinevas kombinatsioonis 20 katsekeha. Kõik katsekehades kasutatud puiduliigid, katsekehade nimetused ja kogused on toodud tabelis 2.2.

Tabel 2.2. S – seeria katsekehade kirjeldus

Katsekeha nimetus	Kogus (tk)	Katsekeha kihid (loetuna seest välja)
S 01 KK1-1(2;3;4;5)	5	Tamm, haab, saar, tamm
S 01 KK2-1(2;3;4;5)	5	Saar, haab, kask, saar
S 01 KK3-1(2;3;4;5)	5	Saar, must lepp, kask, saar
S 01 KK5-1(2;3;4;5)	5	Kask, haab, kuusk, kask

Sarnaselt V – seeriale, toimusid kõik S – seeria katsekehade liimimised Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Maaehituse osakonna ehituskonstruksioonide laboris. Kõikide liimimiste ajal jäi ruumi temperatuur vahemikku 15...18°C ning suhteline õhuniiskus 35...55%. Liimimisel kasutati vabalt kättesaadavat niiskuskindlat Eskaro B3 puiduliimi (liimi kirjeldus ja sertifikaat on toodud lisas nr 1). Liimi kanti puitlamellide pinnale 100 mm laiuse sünteetiliste karvadega pintsliga abil ning liimikihi ühtlaseks jaotumiseks töödeldi S – seeria katsekehade puhul liimipinda 250 mm laiuse A1 hambaga liimikammiga.

S – seeria katsekehade liimimisel kasutatud seadmed olid täpselt samad, mis V – seeria katsekehade puhulgi. Maaehituse osakonna ehituskonstruksioonide labori Konecranes 4,99 T

talakraana abiga monteeriti vajalikud terasprofiilid. Puitlamellide kokku pressimisel kasutati hüdraulilist pressi Lukas LZM 25/200 ning pressi näit registreeriti andmelugeriga Ahlborn Almemo 2890-9.

Tulenevalt käesoleva seeria nihutatud lamellide omapärast projekteeris ja tellis ettevõtte Architrav OÜ reguleeritava pikkusga terasest tapipesa templi (vt joonis 2.12), mis võimaldas lamelle üksteise suhtes soovitud pikkuse võrra nihutada. Esimeste katsekehade liimimisel selgus, et sümmeetriliselt nihutatud lamellidega katsekehade jaoks on oluline ka tapikeele matriitsi olemasolu. Matriitsi valmistati samadest lamellidest, mida kasutati katsekehade koostamisel. Võimalikult tugeva ning jäiga matriitsi saamiseks kasutati ainult tamme- ja saarepuidust lamelle (vt joonis 2.13).



Joonis 2.12. Reguleeritava pikkusega terasest tapipesa tempel. (T.Teppand'i foto 2017)



Joonis 2.13. Matriitsi valmistamine tamme- ja saarepuidust. (T.Teppand'i foto 2017)

Sarnaselt V – seeria katsekehade liimimisele sorteeriti ja jaotati ka S - seeria kõikide katsekehade lamellid eraldi komplektidesse, et tulevasi protsesse kiirendada. Vahetult enne liimi peale kandmist laotati ühe katsekeha lamellid puhastatud alusele kõrvuti maha. Seejärel kanti kõikide lamellide ühele laiemale küljele pintsliga liim ning selle ühtlaseks jaotuseks töödeldi liimitud pinda liimikammiga. Enne lamellide asetamist alumisse terasrakisesse paigutati puidust Matriits omale kohale. Liimiga kaetud lamellid asetati samas järjekorras nagu V – seeria liimimistelgi ehituspaberiga kaetud alumisse terasrakisesse. Ainukese erinevusega, et lamellid asetati juba osaliselt matriitsi sisse, mis lihtsustas oluliselt nihutamise protsessi ning nihutamise pikkuseks jäi 30...40 mm.

Kindlas järjekorras paigutatud lamellid kaetakse ka pealt ehituspaberiga ning liimitud lamellide peale asetatakse ülemine terasrakis. Tulenevalt liimitud lamellide mehaanilisest nihutamisest on S– seeria katsekehade liimimisel oluline, et alumine ja ülemine terasrakis üksteise suhtes ei nihkuks. Seega konstrueeriti alumise ja ülemise terasrakise külge terasplaatidest lõikele töötav lukusti (vt joonis 2.14).



Joonis 2.14. Alumise ja ülemise terasrakise nihkumist takistav lukusti. (T.Teppand'i foto 2017)

Järgmisena asetati katsekeha vabasse otsa tapipesa tempel, mida suruti, kasutades sõrgkangi, nii kaua kuni lamellid olid nihkunud soovitud pikkuse võrra. Seejärel tõsteti katsekehalt ajutiselt

ära ülemine terasrakis, et eemaldada nii tapipesa tempel kui ka matriits. Pärast tappide eemaldamist asetati tagasi ülemine terasrakis ning selle peale IPE 140 terasprofiil (EVS-EN 10079:2008), et jaotada hüdraulilise pressi Lukas 25/200 poolt tekitatud koondatud koormust. Seejärel rakendatakse IPE 140 terasprofiilile sarnaselt V – seeria katsekehadele koormus 200...210 bar'i. Kohe pärast koormuse rakendamist märgitakse liimimiste protokollis katsekeha nimetus, liimimise kuupäev, kellaaeg ning rakendatud surve, lisaks märgitakse üles ka märkused ning tähelepanekud. Iga 15 minuti järel märgitakse üles surve vahenäit. Liimimisprotsessi kiirendamiseks otsustasime S – seeria puhul katsekehad surve alt vabastada 45 minuti möödudes. Pärast surve alt vabastamist asetatakse katsekehad stabiilsele ja sirgele alusele vähemalt 24 tunniks kuivama. Kõikide katsekehade liimimiste protokoll on toodud lisas nr 2. Joonistel 2.15 ja 2.16 on toodud mõni näide liimitud katsekehade kohta.



Joonis 2.15. Katsekehad S 01 KK1-2 ja S 01 KK4-1 pärast liimimist. (T.Teppand'i foto 2017)



Joonis 2.16. S – seeria katsekehad Prantsusmaal, Nantes’is, Ecole Supérieure du Bois’i puidutöökojas. (T.Teppand’i foto 2017)

2.4. Katsemetoodika

Liimpuitpuitlattice V-seeria erinevate tugevusomaduste ja S-seeria survekatsete katsetamise käigu ja tekkinud probleemide ning tähelepanekute kohta koostatakse katsete raport (Nurme, Teppand T., Teppand S. 2017). Liimpuitlattice S-seeria paindekatsete erinevate tugevusomaduste katsetamise käigu ja tekkinud probleemide ning tähelepanekute kohta koostatakse katsete raport (Nurme et al.2017).

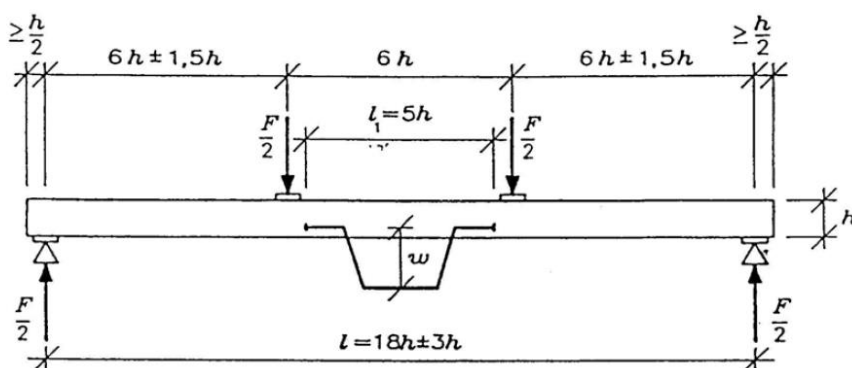
2.4.1. Paindekatsete metoodika

Kõikide purustavate paindekatsete läbiviimisel lähtuti standardis EVS-EN 408:2010+A1:2012. (2012). „Ehituspuit ja liimpuit. Mõnede füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste määramine.“ esitatud metoodikast.

Enne paindekatsete läbi viimist määrati kõikide katsekehade mõõtmed täpsusega 1 % ning silmas peeti ka seda, et mõõtmisi ei teostataks katsekeha otsale mitte lähemal kui 150 mm.

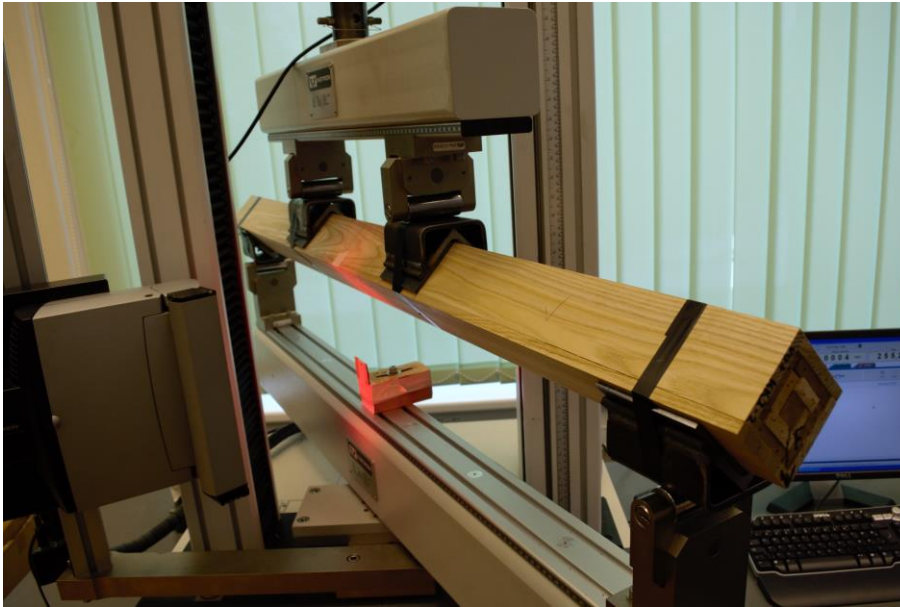
Mõõtmistel kasutati digitaalset nihkkaliibrit Scala SC 075 täpsusega 0,01 mm (EVS-EN 408). Kõikide katsekehade puhul määrati ka erinevate puiduliikide niiskussisaldus. Massiivpuidust katsekehadel mõõdeti niiskussisaldust kolmest punktist ning kombineeritud ristlõikega liimpuitlattidel mõõdeti iga lamelli niiskussisaldust. Saadud väärtustest võeti kaalutud keskmine ja see andis katsekeha keskmise niiskussisalduse väärtuse. Kõik mõõdistamised teostati niiskumõõdja GANN Hydromette HT 85 T täpsusega 0,1 %. Vahetult pärast niiskussisalduse mõõtmist kaaluti kõik katsekehad laborikaaluga KERN 572-39/45 täpsusega 0,01 kg.

Tulenevalt kasutatavatest katseseadmetest ei olnud võimalik tagada katsekeha minimaalset pikkust (19-kordne ristlõike kõrgus) ning katsekehade tegelikud pikkused ja avad on esitatud katsete protokollis (vt lisa nr 3 ja 4). Kõik katsekehad on toetatud lihttalana ja koormatud paindele sümmeetriliselt kahes punktis (vt joonis 2.17). Paindekatsete teostamisel ei ole kasutatud külgoestust. (EVS-EN 408)



Joonis 2.17. Katseskeem lokaalse paindeelastsusmooduli määramisel (EVS-EN 408)

Puitvõrkkoorikute omapärast tulenevalt, kus latte koormatakse nii horisontaal- kui ka vertikaalsuunaliste projektsioonide sihis, on kõikide paindekatsete läbiviimisel katsekehasid diagonaalselt koormatud (nn *Diamond Shape*). Katsekehade diagonaalseks toetamiseks ja koormamiseks projekteeris Architrav OÜ terasrakised, mille põhielemendiks on võrdkülgne nurkteras 70 x 8 mm (EVS-EN 10079:2008) pikkusega 100 mm. Nurkterase välimisele küljele on keevitatud terastugi, mis võimaldab paralleelset toetamist. Nurkterase sisekülgedele on peitpeapoltidega kinnitatud 6 mm paksused teraslehed, mis on mõeldud nurkterase sisekülgede omavahelise raadiuse kaotamiseks (vt joonis 2.18).



Joonis 2.18. Katsekeha V 03 KK2-2 enne paindekatse alustamist. (Autori foto)

Koormusseadmetena on kasutatud Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Metsatööstuse osakonna katseseadet INSTRON 3369 maksimaalse koormusega 50 kN ning Ecole Supérieure du Bois'i katseseadet MTS DY36 maksimaalse koormusega 100 kN. Mõlemad koormusseadmed võimaldavad koormust mõõta vähemalt 1 % täpsusega katsekehale rakendatavast koormusest ning läbipainet täpsusega vähemalt 1 % (EVS-EN 408). Katsekehade purustav koormus saavutatakse 300 ± 120 sekundi jooksul (EVS-EN 408). Kõik katsetulemused salvestatakse arvutis logifailidena ning need on hiljem töödeldavad. Katsetulemustele tuginedes koostatakse koormuse/läbipainde graafik, kus analüüsitakse vahemikku $0,1 F_{\max}$ kuni $0,4 F_{\max}$ ja arvutatakse lokaalne paindeelastsusmoodul valemiga 2.1 (EVS-EN 408):

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}, \quad (2.1)$$

kus $E_{m,l}$ on lokaalne paindeelastsusmoodul MPa;

$F_2 - F_1$ - koormuse juurdekasv N;

$w_2 - w_1$ - $(F_2 - F_1)$ -le vastav läbipainde juurdekasv mm;

a - kaugus koormuse rakenduspunkti ja lähima toe vahel mm;

l_1 - paindeava pikkus mm;

I - ristlõike inertsimoment mm^4 .

Paindetugevus arvutatakse valemiga 2.2 (EVS-EN 408):

$$f_m = \frac{aF_{max}}{2W}, \quad (2.2)$$

kus f_m on paindetugevus MPa;

F_{max} - maksimaalne koormus N;

a - kaugus koormuse rakenduspunkti ja lähima toe vahel mm;

W - ristlõike vastupanumoment mm^3 .

2.4.2. Survekatsete metoodika

Kõikide purustavate survekatsete läbiviimisel lähtuti standardis EVS-EN 408:2010+A1:2012. (2012). „Ehituspuit ja liimpuit. Mõnede füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste määramine.“ esitatud metoodikast.

Enne survekatsete läbi viimist määrati katsekehade mõõtmed, niiskussusaldus ja kaal täpselt samade seadmetega ja metoodikaga nagu paindekatsete puhul. Kõik vajalikud andmed on esitatud katsete protokollis (vt lisa nr 5).

Survekatsete teostamisel on kasutatud katsekeha ehitusliku täissuurusega ristlõiget (80 x 80 mm). Katsekehade pikkus on ristlõike väiksema mõõdu kuuekordne (480 mm) ning katsekehade otspinnad on tasapinnaliselt ja paralleelselt töödeldud. Katsekehad on koormatud kontsentriselt ja paindevabalt (vt joonis 2.19). (EVS-EN 408)



Joonis 2.19. Katsekeha S 01 KK1-11 enne survekatse alustamist. (T.Teppand'i foto 2017)

Koormusseadmena on kasutatud Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Maaehituse osakonna universaalset katseseadet P-125 maksimaalse koormusega 1250 kN. Koormusseade võimaldab koormust mõõta vähemalt 1 % täpsusega katsekehale rakendatavast koormusest ning pressi külge on monteeritud ka Ahlborn Almemo FWA 025T siirdeandur, mis võimaldab määrata deformatsioone 1 % täpsusega (EVS-EN 408). Katsekehade purustav koormus saavutatakse 300 ± 120 sekundi jooksul (EVS-EN 408). Kõik katsetulemused salvestatakse arvutis logifailidena ning need on hiljem töödeldavad. Katsetulemustele tuginedes koostatakse koormuse/deformatsioonide graafik, kus analüüsitakse lineaarse regressiooni vahemikku ja arvutatakse surveelastsusmoodul valemiga 2.3 (EVS-EN 408):

$$E_{c,0} = \frac{l_1(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)}, \quad (2.3)$$

kus $E_{c,0}$ on surveelastsusmoodul MPa;

$F_2 - F_1$ - koormuse juurdekasv N;

$w_2 - w_1$ - $(F_2 - F_1)$ -le vastav deformatsiooni juurdekasv mm;

l_1 - katsekeha pikkus mm;

A - ristlõike pindala mm².

Survetugevus arvutatakse valemiga 2.4 (EVS-EN 408):

$$f_{c,0} = \frac{F_{max}}{A}, \quad (2.4)$$

kus $f_{c,0}$ on survetugevus MPa;

F_{max} - maksimaalne koormus N;

A - ristlõike pindala mm².

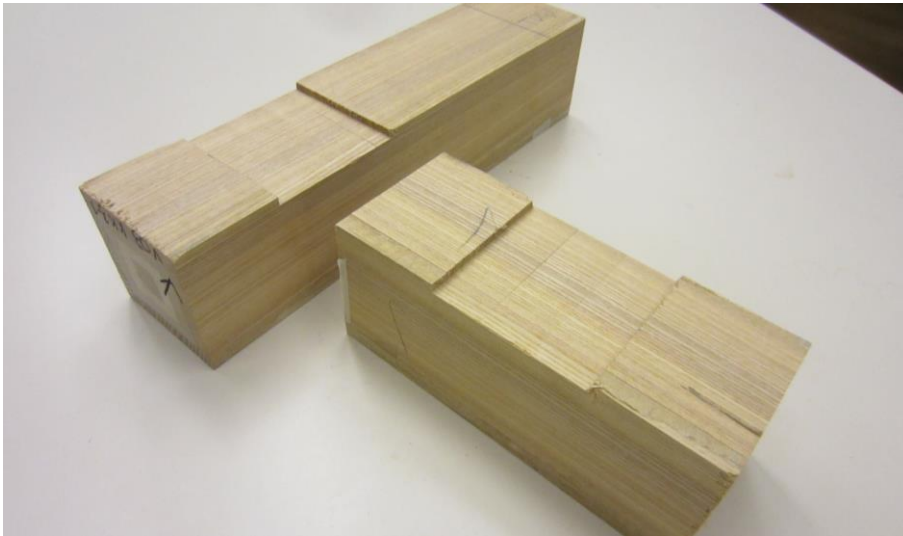
2.4.3. Märketapi katsete metoodika

Puitseotiste katsetamiseks kindel metoodika puudub, seega on märketapi katsete läbiviimisel lähtutud maksimaalses võimalikus mahus standardi EVS-EN 408:2010+A1:2012. (2012). „Ehituspuit ja liimpuit. Mõnede füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste määramine.“ esitatud metoodikast.

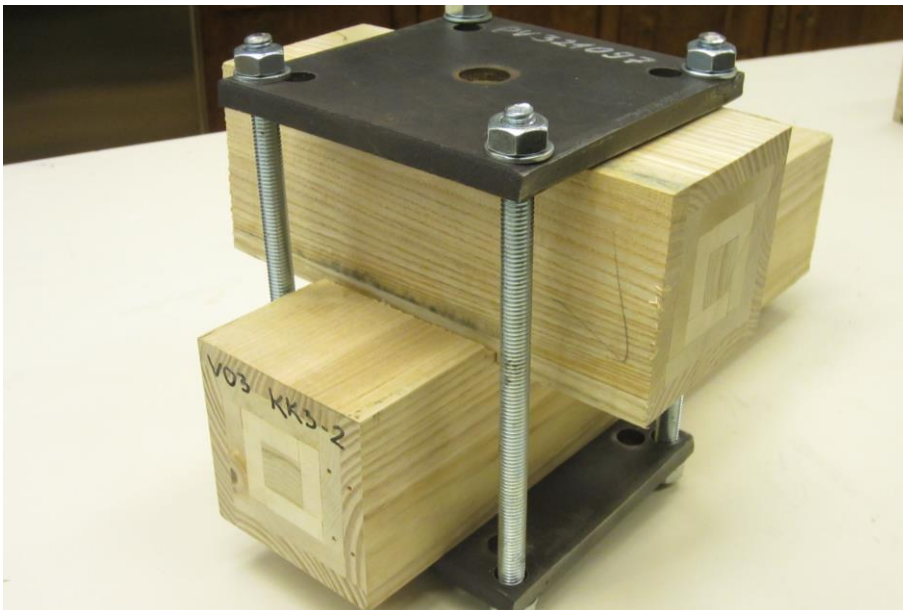
Katsete läbiviimisel kasutati varasemalt V – seeria paindekatsetes purustatud katsekehasid. Purustatud katsekehadest lõigati välja paindekatsetes purunenud keskmine tsoon ning seeläbi saadi kaks deformeerumata otsa. Kuna tegemist on samade katsekehadega, siis on mõõtmed, niiskussisaldus ja kaal otseselt ülekantavad. Kõik vajalikud andmed on esitatud katsete protokollis (vt lisa nr 6).

Mugavamaks katsetamiseks jäeti märketapi katse vertikaalne osa pikem ning horisontaalne osa lühem. Mõlemasse deformeerumata otsa teostati ühte välimisse puitlamelli ülafreesiga 80 mm pikk ja 5 mm sügav sisselõige (vt joonis 2.20). Seejärel sobitati kaks osa omavahel selliselt

kokku, et vertikaalne osa oleks pikem ja horisontaalne osa lühem. Järgmisena asetatakse mõlemale poole ühendust terasplaadid, mis ühendatakse omavahel keermelattidega. Keermelatid pingutatakse selliselt, et vertikaalne ja horisontaalne katsekeha osa ei saaks üksteisest eemalduda, aga samas peavad terasplaadid saama vabalt libiseda (vt joonis 2.21).



Joonis 2.20. Katsekeha V 03 KK2-1 80 mm pikk ja 5 mm sügav sisselõige mõlemas osas. (T.Teppand'i foto 2017)



Joonis 2.21. Katsekeha V 03 KK3-2 pärast märketapi katset. (T.Teppand'i foto 2017)

Katsekeha vertikaalne osa on jäigalt kinnitatud katseseadme aluse külge ning koormamine toimub katsekeha horisontaalse osa väljaulatuvatel otsadel. Katsekeha asetamisel katseseadmele tuleb jäigalt kinnitada vertikaalne osa ning kindlasti tuleb takistada ka katsekeha koos hoidvate terasplaatide siirdumist katsekeha suhtes.

Koormusseadmena on kasutatud Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Metstööstuse osakonna katseseadet INSTRON 3369 maksimaalse koormusega 50 kN. Koormusseade võimaldab koormust mõõta vähemalt 1 % täpsusega katsekehale rakendatavast koormusest ning läbipainet täpsusega vähemalt 1 % (EVS-EN 408). Kõik katsetulemused salvestatakse arvutis logifailidena ning need on hiljem töödeldavad. Käesoleva katseseeria puhul lisaarvutuste teostamine vajalik ei ole, kuna saadud tulemused on otseselt seotud konkreetse katsekeha välimise puitlamelli märketapi koormustaluvusega.

2.4.4. Lattide omavahelise ühenduse katsete metoodika

Kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide omavahelise ühenduse katsetamine sarnaneb väga suures osas paindekatsete metoodikaga. Seega lähtuti kõikide lattide omavahelise ühenduse purustavate katsete läbiviimisel maksimaalses võimalikus mahus standardis EVS-EN 408:2010+A1:2012. (2012). „Ehituspuit ja liimpuit. Mõnede füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste määramine.“ esitatud metoodikast.

Katsete läbiviimisel kasutati varasemalt S-seeria paindekatsetes purustatud katsekehasid. Purustatud katsekehadest lõigati välja paindekatsetes purunenud keskmine tsoon ning seeläbi saadi üks tapi pesaga ja üks tapi keelega katsekeha ots (vt joonis 2.22). Kuna tegemist on samade katsekehadega, siis on mõõtmised, niiskussisaldus ja kaal otseselt ülekantavad.

Tulenevalt katsekehade ökonoomsest kasutusest ei olnud võimalik tagada katsekeha minimaalset pikkust (19-kordne ristlõike kõrgus) ning katsekehade tegelikud pikkused ja avad on esitatud katsete protokollis (vt lisa nr 7). Sarnaselt paindekatsetega on kõik katsekehad toetatud lihttalana ja koormatud paindele sümmeetriliselt kahes punktis (vt joonis 2.17). Lattide omavahelise ühenduse katsete teostamisel ei ole kasutatud külgtõestust. (EVS-EN 408)



Joonis 2.22. Lattide omavahelise ühenduse katsekehad. (T.Teppand'i foto 2017)

Nagu paindekatsedegi puhul toimus lattide omavahelise ühenduse katsetamine diagonaalsel koormamisel. Katsekehade diagonaalseks toetamiseks ja koormamiseks kasutati terasrakised (vt joonis 2.23). Katsekehade tapikeeli töödeldi lintlihvijaga, et tagada tapikeele ja tapipesa omavaheline sobivus. Tappe ühendati omavahel kahel viisil, pooled tapid ühendati omavahel selliselt, et tapi keelele kanti kiht liimi ja tapid suruti omavahel kokku ning asetati stabiilsele alusele 24 tunniks kuivama. Teine pool tappe suruti omavahel kokku kuivalt, liimi kasutamata.



Joonis 2.23. Katsekeha S 01 KK2-1enne lattide omavahelise ühenduse katse alustamist. (T.Teppand'i foto 2017)

Koormusseadmena on kasutatud Ecole Supérieure du Bois'i katseseadet MTS DY36 maksimaalse koormusega 100 kN. Koormusseade võimaldab koormust mõõta vähemalt 1 % täpsusega katsekehale rakendatavast koormusest ning läbipainet täpsusega vähemalt 1 % (EVS-EN 408). Kõik katsetulemused salvestatakse arvutis logifailidena ning need on hiljem töödeldavad. Käesolevas lattide omavahelise ühenduse katseseerias ei ole elastsusmooduli leidmine nii oluline, sest peamine olulisus seisneb selles, kas lattide omavaheline ühendus suudab vastu võtta eelpingestamisel tekkivat paindemomenti. Seega leitakse maksimaalse koormuse juures paindetugevus valemiga 2.5 (EVS-EN 408):

$$f_m = \frac{aF_{max}}{2W}, \quad (2.5)$$

kus f_m on paindetugevus MPa;

F_{max} - maksimaalne koormus N;

a - kaugus koormuse rakenduspunkti ja lähima toe vahel mm;

W - ristlõike vastupanumoment mm³.

2.4.5. Katsekehade mikroskoobiga uurimise metoodika

Katsekehade uurimine mikroskoopidega teostatakse selleks, et uurida liimikihi paksust, liimi imendumist erinevatesse puiduliikidesse ja liimivuugi struktuuri pärast purunemist. Katsekehasid uuriti Ecole Supérieure du Bois'i elektronmikroskoobiga Quanta 250 ja valgusmikroskoobiga Zeiss Germany Standard 20. Kõikide katsekehade näidiste uurimise käigu ja tekkinud probleemide ning tähelepanekute kohta koostatakse katsete raport (Nurme et al.2017).

S-seeria katsekehadest lõigati pärast purustavaid paindekatsed nurgasaega 1 cm laiused seibid. Seejärel lõigati saadud seibid veel omakorda neljaks (vt joonis 2.24), mis võimaldab kõikide katsekehas kasutatud puiduliikide omavahelisi ühendusi uurida.

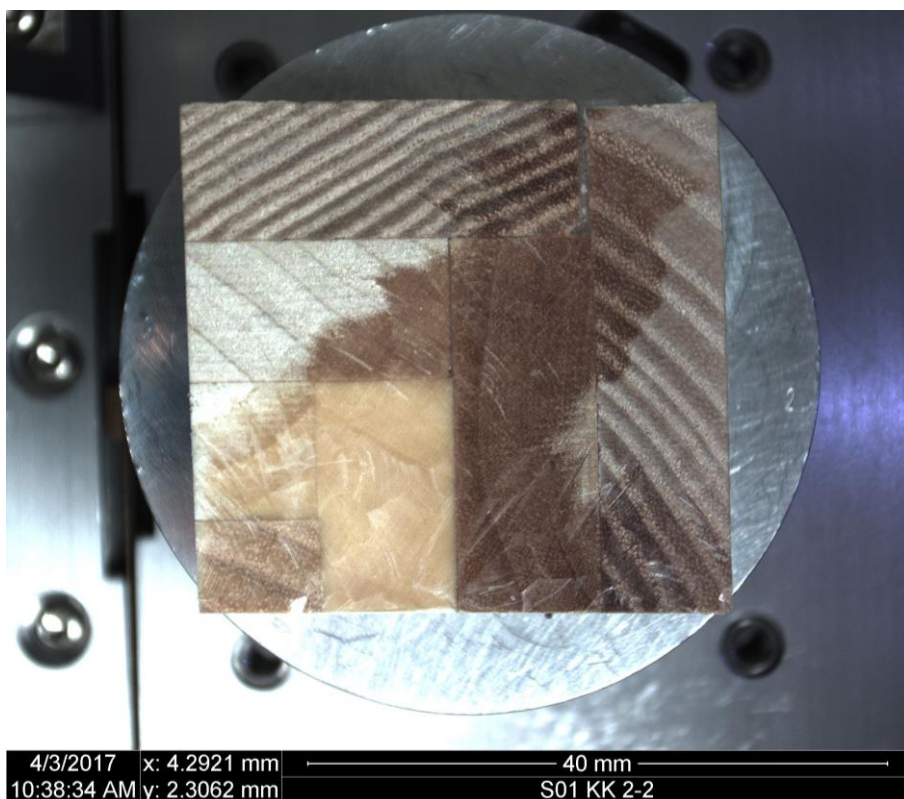


Joonis 2.24. Elektron- ja valgusmikroskoobi katsekehad. (T.Teppand'i foto 2017)

Elektronmikroskoobi ja ka valgusmikroskoobi jaoks on oluline, et uuritava katsekeha pind on puhas ning puidukiud ei tohi olla muljutud (Stokes 2008). Seetõttu töödeldi katsekehasid väga terava žiletiga, mis tagas võimalikult puhta pinna. Valgusmikroskoobi jaoks lõigati sama žiletiga õhukesed (40...60 μm) puidulaastud, mis asetati alusklaasile.

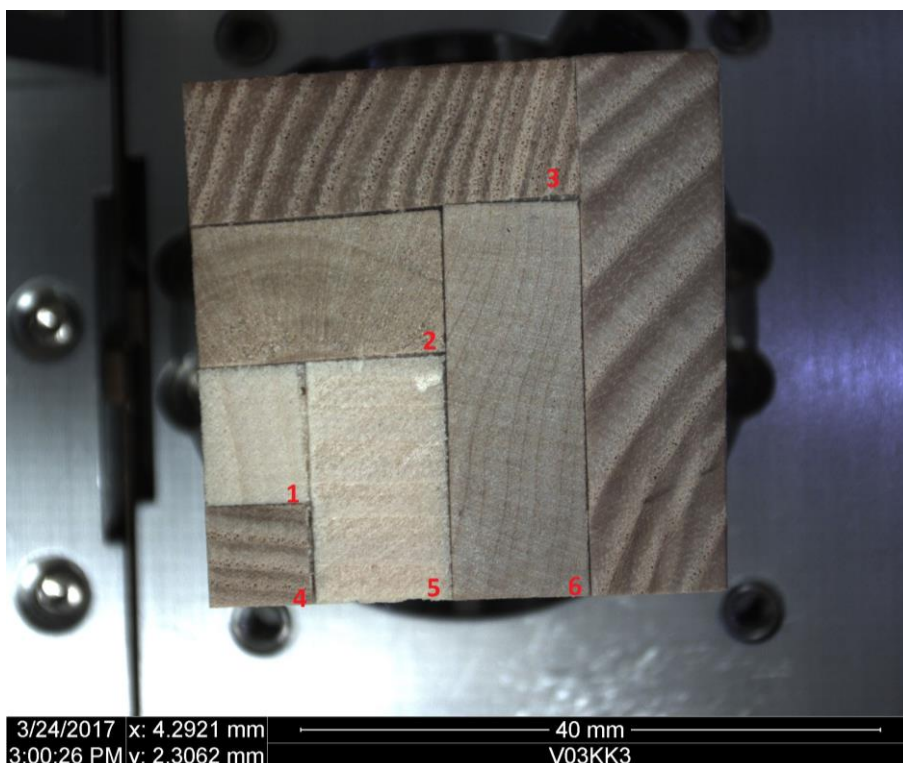
Valgusmikroskoobi all uuriti kõikidest erineva kombinatsiooniga katsekehadest ühte näidet, mis võimaldas hiljem elektronmikroskoobi tulemusi paremini mõista ja võrrelda. Uuritav näidis asetati valgusmikroskoobile ning seejärel valiti soovitud suurendus ja mikroskoobi lääts suunati näidisele nii lähedale kui võimalik (Oldenbourg 2013). Lääts hakati näidisest eemaldama ja seda tehti nii kaua kui mikroskoobi pilt selgines (Oldenbourg 2013). Siis reguleeriti vajadusel valgusallika intensiivsust ja näidise asukohta läätses suhtes, et kuvada soovitud piirkonda (Oldenbourg 2013). Lõpuks salvestati läbi mikroskoobi nähtav pilt kaamera abil arvutisse.

Elektronmikroskoobiga uuriti kõikidest erineva kombinatsiooniga katsekehadest kahte näidet. Uuritav näidis kinnitati spetsiaalsele alusele ning asetati vaakumkambrisse (vt joonis 2.25).



Joonis 2.25. Vaakumkambrisse asetatud katsekeha S 01 KK2-2 näidis. (Quanta 250 foto)

Vaakumkamber suletakse ning kompressoriga tekitatakse sobiv töö rõhk, mis soodustab elektronide liikumist läbi näidise (Stokes 2008). Seejärel valitakse näidisel koht, mida uurima hakatakse ja järgneb sobiva suurenduse valik ning kõrge resolutsiooniga kaamera pildistab mikroskoobi pildi üles (Stokes 2008). Pildi kuvamine ja kogu ülejäänud tegevus toimub elektronmikroskoobiga ühendatud arvuti abil (Stokes 2008). Igal näidisel uuritakse 6 iseloomulikku kohta, mis on toodud joonisel 2.26, kus punktides 1; 2 ja 3 toimub näidise uurimine 90° nurga all ning punktides 4; 5 ja 6 vastavalt olukorrale $30\ldots 45^\circ$ nurga all.



Joonis 2.26. Elektronmikroskoobiga uuritavad piirkonnad. (Quanta 250 foto)

2.5. Modelleeritud puitvõrkkooriku arvutamine LEM programmiga

2.5.1. Eesmärgid ja lähteülesanne

LEM ehk lõplike elementide meetodi programmina on kasutatud tuntud tarkvara tootja Autodesk'i toodet Robot Structural Analysis Professional 2017. Arvutusmudeli defineerimisel ja edasisel töötlemisel on osaliselt lähtutud Dragos Naicu poolt koostatud magistritööst (Naicu 2012).

Autodesk Revit 2017 programmiga modelleeritud puitvõrkkooriku uurimise eesmärk LEM programmiga on genereerida maksimaalsed võimalikud konstruktsioonis tekkivad sisejõud. Pärast kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide katsete andmete töötlust selguvad uue materjali esialgsed tugevus- ja jäikusomadused, mida on võimalik võrrelda Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017 programmist saadud tulemustega. Seejärel on võimalik teha

järeldusi, kas ja kuidas uus materjal sobib suuresildeliste puitvõrkkoorikute konstrueerimiseks. Kõik modelleerimised ja analüüsid toimuvad varasemalt õppeaine „Tootmishoonete projekteerimine“ kursuseprojekti raames vormistatud Eesti Maaülikooli jäähalli/hokiareeni katusekonstruktsiooni mahtude ja geomeetria järgi.

2.5.2. Puitvõrkkooriku analüüs

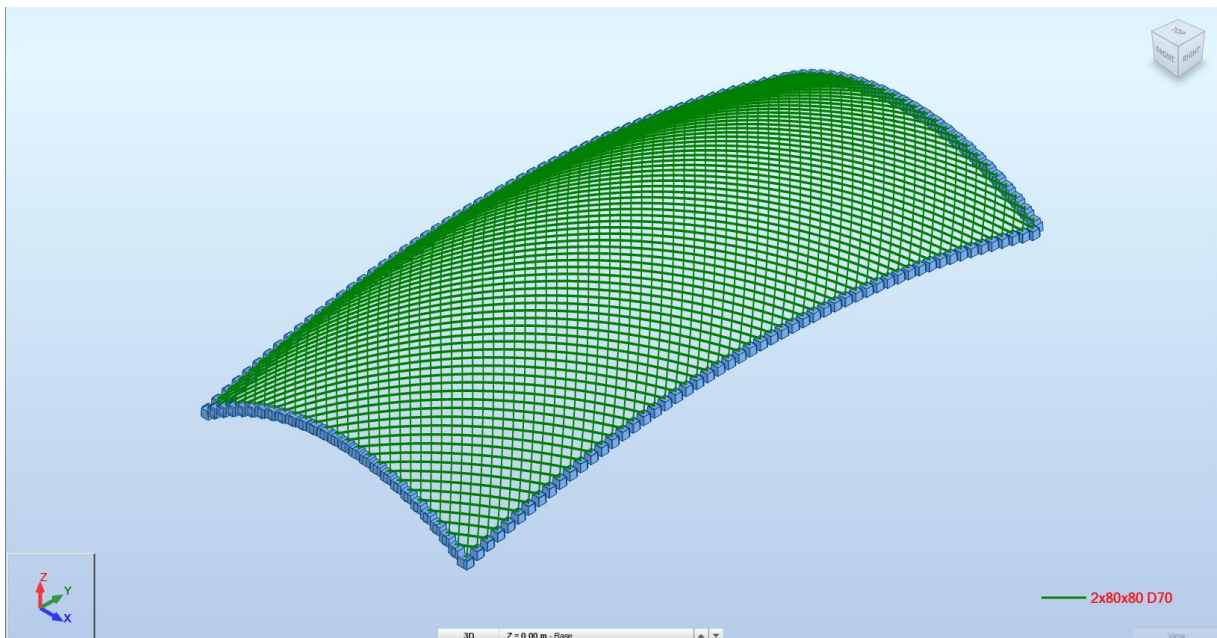
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017 arvutiprogrammis on analüüsitud varasemalt Autodesk Revit 2017 programmis modelleeritud puitvõrkkoorikut. Kõikide koormuste defineerimisel on arvestatud lähteülesandes määratud hoone katusekonstruktsioonist, geograafilisest asukohast ja järgnevatest standarditest:

- EVS-EN 1990:2002+A1:2006+AC:2010 „Eurokoodeks. Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused.“;
- EVS-EN 1991-1-1:2002+AC:2009 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused.“;
- EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus.“;
- EVS-EN 1991-1-4:2005+A1:2010+NA:2010 „Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus.“;
- EVS-EN 1995-1-1:2005+A2:2014 „Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks.“.

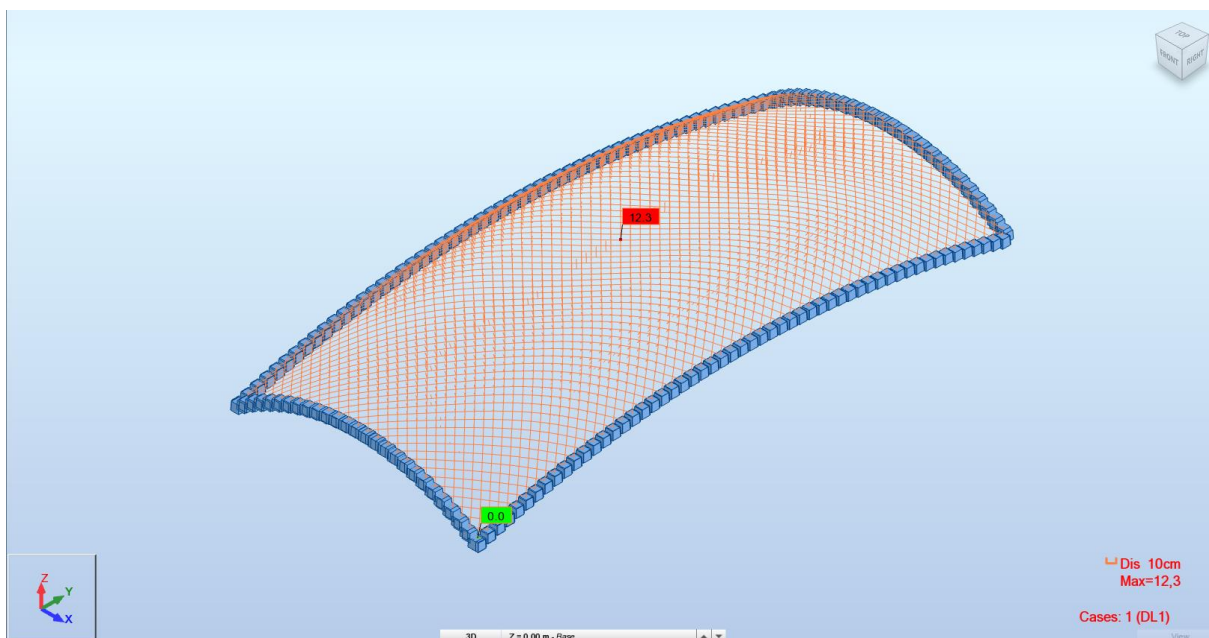
Puitvõrkkooriku analüüsimisel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017 arvutiprogrammis teostati järgnevad töövõtted (Pabort 2014):

- 1) Autodesk Revit 2017 arvutiprogrammis modelleeritud puitvõrkkooriku importimine LEM programmi Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017;
- 2) imporditud skeemi kontroll, vajadusel lisatakse teostatakse parandusi või lisatakse abivardaid;
- 3) varasemalt defineeritud materjalide kontroll ning vajadusel uute materjalide defineerimine (EVS-EN 338) (vt joonis 2.27);

- 4) toesõlmede ja varraste omavaheliste sõlmede määramine;
- 5) järgnevalt teostatakse kontrollarvutus ning analüüsitakse varrasskeemi deformeerunud kuju (vt joonis 2.28);
- 6) koormustüüpide sisestamine, käesolevas konstruktsioonis on käsitletud omakaalu ja kasuskoormused (EVS-EN 1991-1-1), lumekoormus (EVS-EN 1991-1-3) ning tuulekoormus (EVS-EN 1991-1-4);
- 7) koormuskombinatsioonide koostamine tulenevalt materjalidest ja katusekonstruktsiooni geomeetriast (EVS-EN 1990);
- 8) koormuste väärtuste sisestamine varrasskeemile, käesoleva puitvõrkkooriku puhul kasutame varrastele jaotatud koormust;
- 9) seejärel teostatakse lõplik arvutus ning on võimalik kuvada erinevaid sisepingete/jõudude epüüre ja varrasskeemi deformeerunud kuju;



Joonis 2.27. Defineeritud materjalidega puitvõrkkoorik LEM programmis. (Autori joonis)



Joonis 2.28. Varraskeemi deformeerunud kuju LEM programmis. (Autori joonis)

3. KATSETULEMUSED JA ANALÜÜS

3.1. Paindekatsete tulemused ja analüüs

3.1.1. V-seeria paindekatsete tulemused

V-seeria paindekatsete hulka kuulusid peale kombineeritud ristlõikega liimpuitlattidele ka sama ristlõikega kuusepuidust katsekehad, mis on katseseeriatesse lisatud tulemuste võrdlemiseks. Selles katseseerias katsetatud liimpuitlattide lamellid on kokku liimitud neid üksteise suhtes nihutamata.

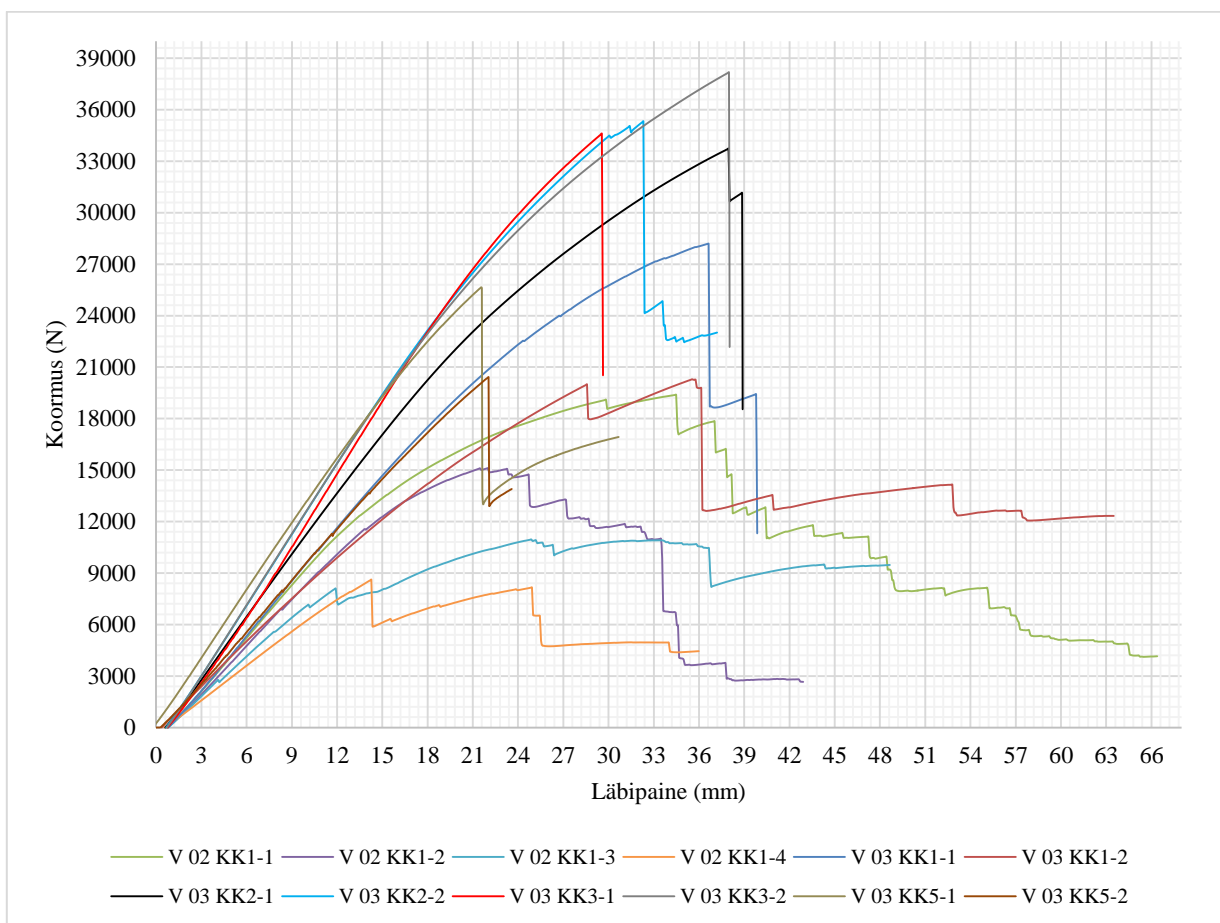
Kõik V-seeria paindekatsed teostati Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Metsatööstuse osakonna katseseadmega INSTRON 3369. Katseseade tekitas katsekäigu kohta logifailid, mis imporditi andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel. Pärast andmete korrastamist teostati lokaalse paindeelastsusmooduli leidmiseks andmepiirkonnale $0,1 F_{\max}$ kuni $0,4 F_{\max}$ regressioonanalüüs (EVS-EN 408). Piirkonda analüüsiti nii kaua, kuni leiti valim, mis andis korrelatsiooniteguri 0,99 või enam (EVS-EN 408). Seejärel leiti lokaalsed paindeelastsusmoodulid ja paindetugevused vastavalt meetoodika osas esitatud valemitele. Kõik katse- ning arvutustulemused on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. V-seeria paindekatsete katse- ja arvutustulemused

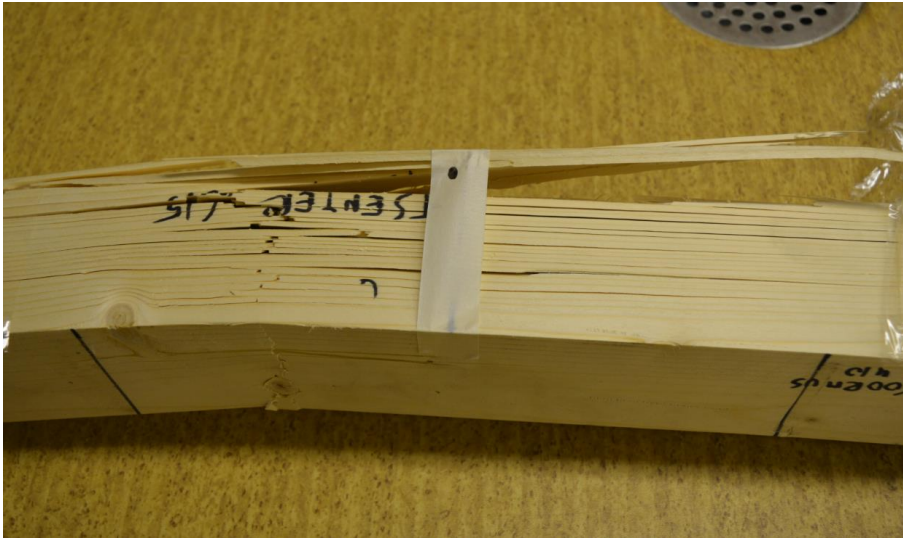
Katsekeha nimetus	Katsekeha kirjeldus (loetuna seest välja)	Max F (N)	Paindetugevus (MPa)	Elastsusmoodul (Mpa)	Läbipaine Max F(mm)	Lõplik läbipaine (mm)	Jäävdef. (mm)
V 02 KK1-1	Kuusk	19388	65,87	11732,08	34,48	66,38	39,02
V 02 KK1-2	Kuusk	15106	51,32	10702,35	22,01	42,91	27,58
V 02 KK1-3	Kuusk	10958	37,23	9023,60	24,88	48,66	13,78
V 02 KK1-4	Kuusk	8612	29,26	7651,94	14,27	35,98	11,82
V 03 KK1-1	Tamm, haab, kask, tamm	28187	95,76	12027,19	36,64	39,86	8,13
V 03 KK1-2	Tamm, haab, kask, tamm	20292	68,94	9667,45	35,55	63,50	13,86
V 03 KK2-1	Tamm, m.lepp, tamm, saar	33732	114,60	13731,38	37,96	38,89	4,31
V 03 KK2-2	Tamm, m.lepp, tamm, saar	35323	120,01	15667,52	32,31	37,20	3,74
V 03 KK3-1	Saar, haab, kask, saar	34608	117,58	15425,37	29,56	29,63	2,03

V 03 KK3-2	Saar, haab, kask, saar	38180	129,71	15649,98	37,99	38,03	7,41
V 03 KK5-1	Kask, haab, m.lepp, kask	25655	87,16	15006,44	21,56	30,67	4,72
V 03 KK5-2	Kask, haab, m.lepp, kask	20421	69,38	11379,85	22,04	23,58	1,94

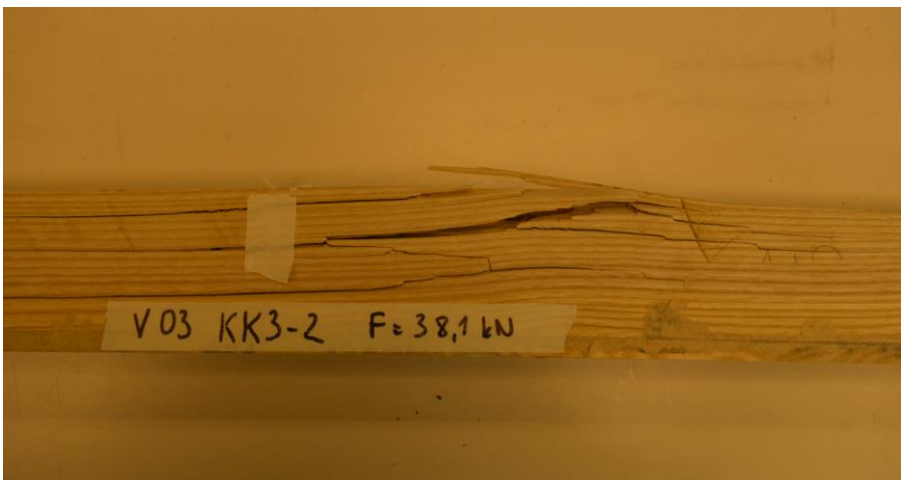
Erinevalt tavapärasele paindekatsele, kus katsekäik lõpeb peale purustava koormuseni jõudmist, koormati käesoleva lõputöö raames teostatud paindekatsetel katsekehasid edasi ka peale maksimaalse koormuse saavutamist. Selline meetodika võimaldab hinnata katsekehade käitumist ja koormustaluvust ka peale esimeste lamellide purunemist. Kõikide katsekehade puhul ei olnud eelnimetatud meetodika väga suure koormuslanguse tõttu võimalik. Pärast purustavaid paindekatseid mõõdeti digitaalse nihkkaliibriga katsekeha jäävdeformatsioon. Purunemisgraafikud on toodud joonisel 3.1. Joonistel 3.2 ja 3.3 on toodud massiivpuidu ning kombineeritud ristlõikega liimpuitlati purunemispilt.



Joonis 3.1. V-seeria paindekatsete purunemisgraafikud



Joonis 3.2. V 02 KK1-1 purunemispilt. (Autori foto)



Joonis 3.3. V 03 KK3-2 purunemispilt. (Autori foto)

3.1.2. S-seeria paindekatsete tulemused

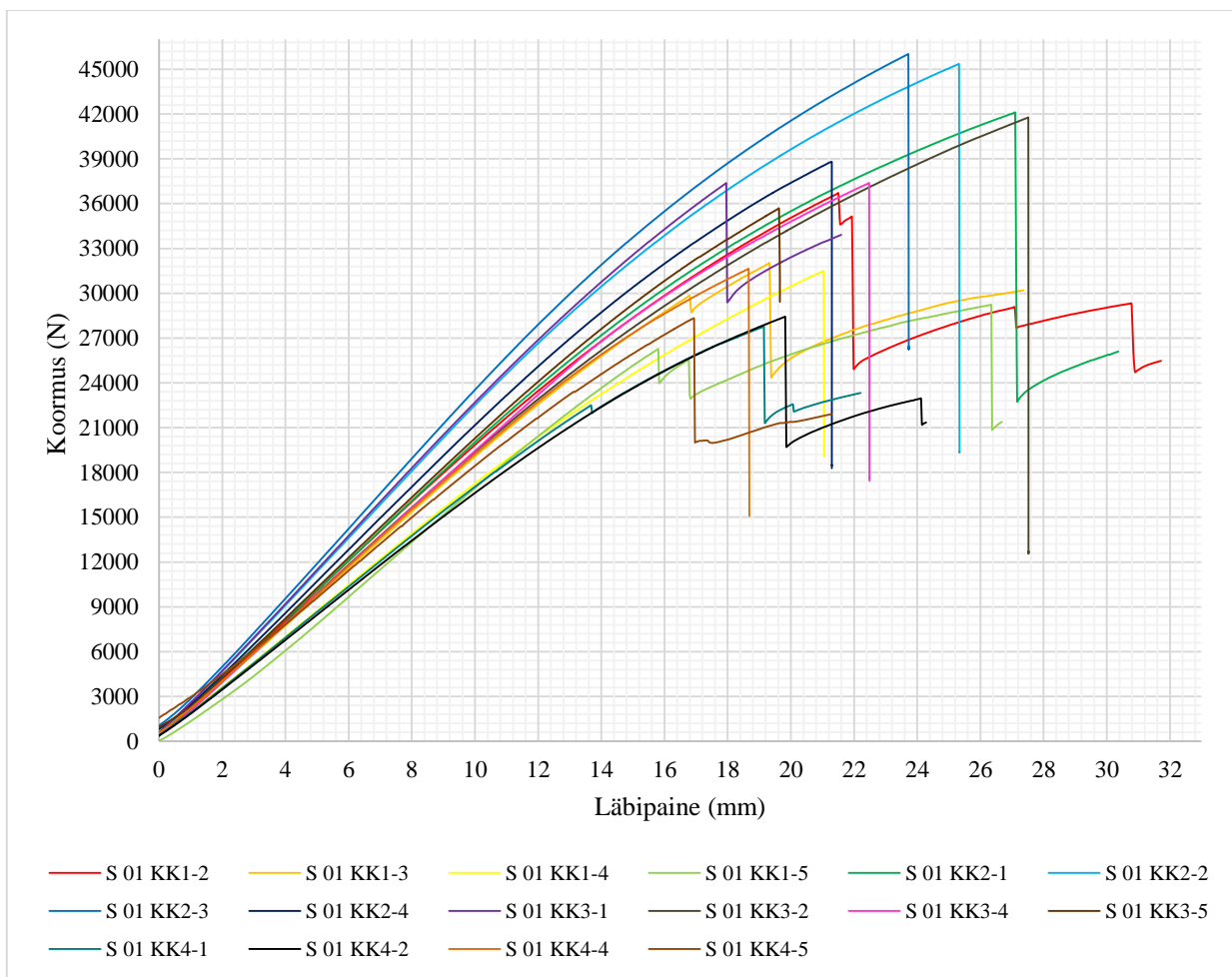
S-seeria paindekatsete hulka kuulusid katsekehad, mille lamellid on liimimise ajal üksteise suhtes nihutatud ning hüpoteesi kohaselt muudab see liimühenduse tugevamaks. Lisaks on katsekehade ühes otsas tapikeel ning teises otsas tapipesa, mis mõjutab katsekeha koormamise skeemi. Kuna nii elastsusmooduli kui ka paindetugevuse arvutamisel võetakse arvesse koormusskeemi mõõtmeid, siis on katsetulemused V-seeriaga võrreldavad.

S-seeria paindekatsed teostati Prantsusmaal, Nantes'is, Ecole Superieure du Bois'i katseseadmega MTS DY36. Katseseade tekitas katsekäigu kohta samuti logifailid, mis imporditi andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel. Pärast andmete korrastamist teostati sarnaselt V-seeriaga lokaalse paindeelastsusmooduli leidmiseks andmepiirkonnale $0,1 F_{\max}$ kuni $0,4 F_{\max}$ regressioonanalüüs (EVS-EN 408). Piirkonda analüüsiti nii kaua, kuni leiti valim, mis andis korrelatsiooniteguri 0,99 või enam (EVS-EN 408). Seejärel leiti lokaalsed paindeelastsusmoodulid ja paindetugevused vastavalt metoodika osas esitatud valemitele. Kõik katse- ning arvutustulemused on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. S-seeria paindekatsete katse- ja arvutustulemused

Katsekeha nimetus	Katsekeha kirjeldus (loetuna seest välja)	Max F (N)	Paindetugevus (MPa)	Elastusmoodul (Mpa)	Läbipaine max F (mm)	Lõplik läbipaine (mm)	Jäävdef. (mm)
S 01 KK1-2	Tamm, haab, saar, tamm	36699	109,48	15287,26	21,50	31,72	4,89
S 01 KK1-3	Tamm, haab, saar, tamm	32012	95,50	14463,61	19,32	27,36	2,43
S 01 KK1-4	Tamm, haab, saar, tamm	31489	93,94	13164,17	21,03	21,06	1,49
S 01 KK1-5	Tamm, haab, saar, tamm	29227	87,19	13412,84	26,34	21,27	3,48
S 01 KK2-1	Saar, haab, kask, saar	42099	125,59	15111,08	27,10	30,37	5,11
S 01 KK2-2	Saar, haab, kask, saar	45356	135,30	17189,60	25,32	25,34	6,01
S 01 KK2-3	Saar, haab, kask, saar	46017	137,27	17820,70	23,72	23,73	5,45
S 01 KK2-4	Saar, haab, kask, saar	38798	115,74	16137,80	21,30	21,30	4,16
S 01 KK3-1	Saar, m.lepp, kask, saar	37368	111,47	17315,20	17,95	21,59	2,65
S 01 KK3-2	Saar, m.lepp, kask, saar	41770	124,60	14900,78	27,52	27,53	12,41
S 01 KK3-4	Saar, m.lepp, kask, saar	37378	111,50	14957,38	22,48	22,49	6,05
S 01 KK3-5	Saar, m.lepp, kask, saar	35680	106,44	15495,23	19,62	19,65	2,94
S 01 KK4-1	Kask, haab, kuusk, kask	27777	82,86	13031,75	19,15	22,21	3,00
S 01 KK4-2	Kask, haab, kuusk, kask	28426	84,80	12822,76	19,82	24,28	3,91
S 01 KK4-4	Kask, haab, kuusk, kask	31641	94,39	14758,13	18,66	18,69	3,80
S 01 KK4-5	Kask, haab, kuusk, kask	28322	84,49	12970,63	16,91	21,28	3,67

Ka S-seeria katsekehasid koormati paindekatsetel edasi ka peale maksimaalse koormuse saavutamist. Sarnaselt V-seeriaga ei olnud ka S-seeria paindekatsetel kõikide katsekehade puhul selline metoodika väga suure koormuslanguse tõttu võimalik. Pärast purustavaid paindekatseid mõõdeti digitaalse nihkkaliibriga katsekeha jäävdeformatsioon. Purunemisgraafikud on toodud joonisel 3.4 ning joonisel 3.5 toodud kombineeritud ristlõikega liimpuitlati purunemispilt.



Joonis 3.4. S-seeria paindekatsete purunemisgraafikud



Joonis 3.5. S 01 KK1-2 purunemispilt. (T.Teppand'i foto 2017)

3.1.3. Paindekatsete analüüs

Kõikide paindekatsete tulemused ja arvutatud väärtused koguti kokku andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel ja moodustati koondtabel (vt tabel 3.3), mis võimaldab tulemusi omavahel võrrelda ja teha järeldusi.

Tabel 3.3. Paindekatsete koondtabel

Katsekeha nimetus	Katsekeha kirjeldus (loetuna seest välja)	Max F (N)	Paindetugevus (MPa)	Elastusmodul (Mpa)	Läbipaine Max F(mm)	Lõplik läbipaine (mm)	Jäävdef. (mm)
V 02 KK1-1	Kuusk	19388	65,87	11732,08	34,48	66,38	39,02
V 02 KK1-2	Kuusk	15106	51,32	10702,35	22,01	42,91	27,58
V 02 KK1-3	Kuusk	10958	37,23	9023,60	24,88	48,66	13,78
V 02 KK1-4	Kuusk	8612	29,26	7651,94	14,27	35,98	11,82
V 03 KK1-1	Tamm, haab, kask, tamm	28187	95,76	12027,19	36,64	39,86	8,13
V 03 KK1-2	Tamm, haab, kask, tamm	20292	68,94	9667,45	35,55	63,50	13,86
V 03 KK2-1	Tamm, m.lepp, tamm, saar	33732	114,60	13731,38	37,96	38,89	4,31
V 03 KK2-2	Tamm, m.lepp, tamm, saar	35323	120,01	15667,52	32,31	37,20	3,74
V 03 KK3-1	Saar, haab, kask, saar	34608	117,58	15425,37	29,56	29,63	2,03
V 03 KK3-2	Saar, haab, kask, saar	38180	129,71	15649,98	37,99	38,03	7,41
V 03 KK5-1	Kask, haab, m.lepp, kask	25655	87,16	15006,44	21,56	30,67	4,72
V 03 KK5-2	Kask, haab, m.lepp, kask	20421	69,38	11379,85	22,04	23,58	1,94
S 01 KK1-2	Tamm, haab, saar, tamm	36699	109,48	15287,26	21,50	31,72	4,89
S 01 KK1-3	Tamm, haab, saar, tamm	32012	95,50	14463,61	19,32	27,36	2,43
S 01 KK1-4	Tamm, haab, saar, tamm	31489	93,94	13164,17	21,03	21,06	1,49
S 01 KK1-5	Tamm, haab, saar, tamm	29227	87,19	13412,84	26,34	21,27	3,48
S 01 KK2-1	Saar, haab, kask, saar	42099	125,59	15111,08	27,10	30,37	5,11
S 01 KK2-2	Saar, haab, kask, saar	45356	135,30	17189,60	25,32	25,34	6,01
S 01 KK2-3	Saar, haab, kask, saar	46017	137,27	17820,70	23,72	23,73	5,45
S 01 KK2-4	Saar, haab, kask, saar	38798	115,74	16137,80	21,30	21,30	4,16
S 01 KK3-1	Saar, m.lepp, kask, saar	37368	111,47	17315,20	17,95	21,59	2,65
S 01 KK3-2	Saar, m.lepp, kask, saar	41770	124,60	14900,78	27,52	27,53	12,41
S 01 KK3-4	Saar, m.lepp, kask, saar	37378	111,50	14957,38	22,48	22,49	6,05
S 01 KK3-5	Saar, m.lepp, kask, saar	35680	106,44	15495,23	19,62	19,65	2,94
S 01 KK4-1	Kask, haab, kuusk, kask	27777	82,86	13031,75	19,15	22,21	3,00
S 01 KK4-2	Kask, haab, kuusk, kask	28426	84,80	12822,76	19,82	24,28	3,91
S 01 KK4-4	Kask, haab, kuusk, kask	31641	94,39	14758,13	18,66	18,69	3,80
S 01 KK4-5	Kask, haab, kuusk, kask	28322	84,49	12970,63	16,91	21,28	3,67

Võrreldes omavahel mõlema katseseeria tulemusi, siis võib kindlasti väita, et kõikide kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide paindetugevused on suuremad kui massiivpuidu (kuusk) paindetugevused. Suurim paindetugevus (137,27 MPa) saavutati katsekehaga S 01

KK2-3, kus on kasutatud järgmisi puuliike (loetuna seest välja): saar, haab, kask ja saar. Kui võrrelda omavahel nihutatud ja nihutamata lamellidega katsekehade paindetugevust, siis otseselt saab võrrelda näiteks katsekehasid V 03 KK3-1(2) ja S 01 KK2-1(2;3;4). Kõige suurema nihutatud lamellidega paindetugevuse (137,27 MPa) saavutas katsekeha S 01 KK2-3 ja nihutamata lamellidega suurim paindetugevus (129,71 MPa) katsekehaga V 03 KK3-2. Käesoleva magistritöö raames saadud tulemuste erinevus on 5,51 %, mida võib sellise katsekehade hulga puhul lugeda pigem vähem oluliseks. Kuna paindetugevuse erinevus siiski nihutatud ja nihutamata lamellide osas esile kerkis, siis oleks materjali edasisel uurimisel vajalik teostada rohkemate katsekehade katseseeriad. Kui ka mahukamad katseseeriad annavad tulemuseks sarnase (ca 5 %) erinevuse, siis võib seda lugeda juba oluliseks erinevuseks.

Kui võrrelda ka katsekehade elastsusmooduleid, siis võib väita, et proportsionaalselt paindetugevuse kasvuga kasvab ka elastsusmooduli väärtus. Samas tasub tähelepanu pöörata kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide paindetugevuse ja elastsusmooduli suhtele, kus suhteliselt suure paindetugevuse juures on võrdlemisi väike elastsusmoodul. Vastupidise näitena võib tuua lehtpuuliigi D70 tugevusklassiga ehituspuidu, kus paindetugevus on 70 MPa ja keskmine elastsusmoodul pikikiudu on 20000 MPa (EVS-EN 338). Sarnase näite võib tuua ka lamell-liimpuidu GL32h tugevusklassis, kus paindetugevus on 32 MPa ja keskmine elastsusmoodul pikikiudu on 14200 MPa (EVS-EN 14080). Siinkohal võib teha järelduse, et katsetatavad kombineeritud ristlõikega liimpuitlatid on suure paindetugevuse juures elastsemad, kui tugev lehtpuu või tavaline lamell-liimpuit. Selline materjali omadus on väga oluline puitvõrkkoorikute konstrueerimise juures.

Katsetatava materjali elastsust kinnitavad ka katsekehade mõõdetud jäävdeformatsioonid, kus suurte lõplike läbipainete juures on kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide jäävdeformatsioonid võrreldes massiivpuiduga palju väiksemad. Kõikide kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide keskmine lõplik läbipaine oli 28,38 mm ning keskmine jäävdeformatsioon 4,90 mm (17 % lõplikust läbipainest) ning massiivpuidu keskmine lõplik läbipaine oli 48,48 mm ja keskmine jäävdeformatsioon 23,05 mm (47 % lõplikust läbipainest).

Koondtabeli põhjal koostati ka korrelatsioonimaatriks. Kokku võrreldi omavahel 8 erinevat tunnust, mille hulka kuulusid ka liimpuitlattides kasutatud lamellide kombinatsioonid ning lamellide nihutamine liimimise ajal. Kuna korrelatsioonimaatriksi koostamisel peavad kõik andmed olema numbrilised, siis anti ka eelnevalt nimetatud tunnustele asjakohased numbrilised väärtused. Lisaks sisaldab korrelatsioonimaatriks ka katsekehade niiskussisaldust, kaalu, paindetugevust, elastsusmoodulit, läbipainete vahet ja jäävdeformatsiooni (vt tabel 3.4). Läbipainete vahe all on siin mõeldud lõpliku läbipainde ja maksimaalse koormuse juures registreeritud läbipainde vahet.

Tabel 3.4. Paindekatsete korrelatsioonimaatriks

	Lamellide kombinatsioon	Lamellide nihutamine	KK Niiskuss. (%)	KK kaal (kg)	Paindetugevus (MPa)	Elastusmoodul (Mpa)	Läbipainete vahe (mm)	Jäävdef. (mm)
Lamellide kombinatsioon	1,0000							
Lamellide nihutamine	0,7669	1,0000						
KK Niiskuss. (%)	-0,7038	-0,4375	1,0000					
KK kaal (kg)	0,3926	0,4899	-0,6162	1,0000				
Paindetugevus (MPa)	0,3582	0,4298	-0,5645	0,8815	1,0000			
Elastusmoodul (Mpa)	0,4705	0,5257	-0,5810	0,7908	0,9186	1,0000		
Läbipainete vahe (mm)	-0,6415	-0,5296	0,7267	-0,7235	-0,7176	-0,6911	1,0000	
Jäävdef. (mm)	-0,6069	-0,4325	0,8292	-0,6222	-0,4619	-0,4614	0,7790	1,0000

Seoste tugevust hinnatakse järgnevate korrelatsioonitegurite (r) väärtuste järgi:

- $r = 0$ tunnuste omavaheline seos puudub;
- $r \leq |0,3|$ tunnuste omavaheline seos on väga nõrk;
- $|0,3| \leq r \leq |0,7|$ tunnuste omavaheline seos on keskmise tugevusega;
- $r \geq |0,7|$ tunnuste omavaheline seos on tugev;
- $r = 1$ tunnuste omavaheline seos on täielik.

Kuna kõik koondtabelis esitatud tunnused on omavahel osaliselt seotud ning valimi hulk on pigem väike, siis on paindekatsete korrelatsioonimaatriksis kõik tunnused vähemalt nõrga seosega. Seega tasuks eelkõige tähelepanu pöörata ekstreemumitele. Kõige tugevam seos (0,9186) on paindetugevuse ja elastsusmooduli vahel, mille tugev seos selgus ka koondtabelit analüüsides. Tugevuselt järgmine seos (0,8815) on paindetugevuse ja katsekeha kaalu vahel, mis jäi silma ka paindekatsete läbiviimisel, kus raskemad katsekehad saavutasid paremaid tulemusi. Käesoleva korrelatsioonimaatriksi kõige nõrgem seos (0,3582) on paindetugevuse ja lamellide kombinatsiooni vahel, mis on tegelikult keskmise tugevusega seos. Koondtabelit analüüsides võib väita, et katsekeha paindetugevus sõltub paljuski lamellide kombinatsioonist.

3.2. Survekatsete tulemused ja analüüs

3.2.1. Survekatsete tulemused

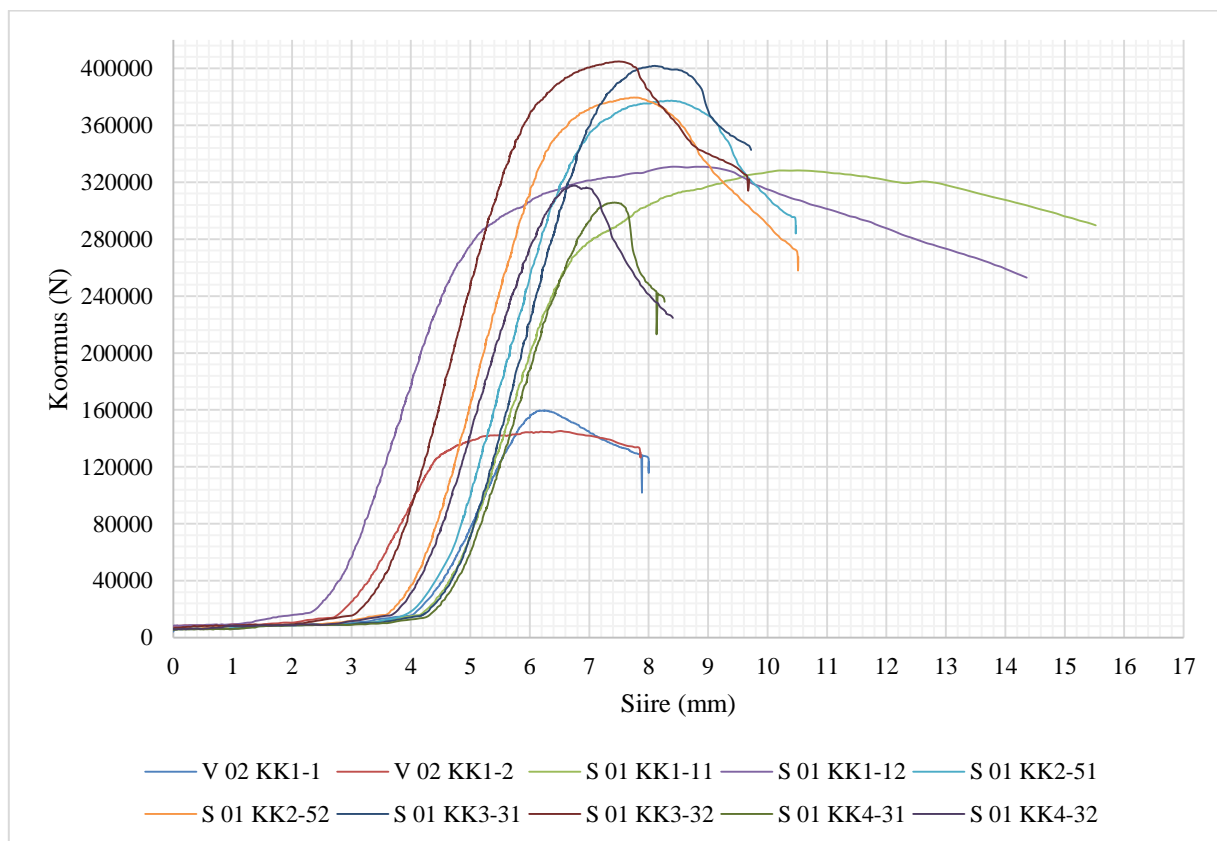
Survekatsete hulka kuulusid S-seeria katsekehad, mis olid tapikeele ja tapipesa ebaõnnestumise tõttu paindekatsetest kõrvale jäänud, seega katsetati survele nihutatud lamellidega katsekehasid. Ühest varasemalt koostatud katsekehast sai kaks vajaliku pikkusega (480 mm) survekatsekeha. Survekatsete hulka kuulusid peale kombineeritud ristlõikega liimpuitlattidest katsekehadele ka sama ristlõikega kuusepuidust katsekehad, mis on katseseeriatesse lisatud tulemuste võrdlemiseks.

Kõik survekatsed teostati Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Maaehituse osakonna Universaalse katseseadmega P-125. Katseseade tekitas katsekäigu kohta logifailid, mis imporditi andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel. Pärast andmete korrastamist teostati surveelastsusmooduli leidmiseks andmepiirkonnale $0,3 F_{\max}$ kuni $0,6 F_{\max}$ regressioonanalüüs (EVS-EN 408). Piirkonda analüüsiti nii kaua, kuni leiti valim, mis andis korrelatsiooniteguri 0,99 või enam (EVS-EN 408). Seejärel leiti surveelastsusmoodulid ja survetugevused vastavalt meetodika osas esitatud valemitele. Kõikide survekatsete tulemused ja arvutatud väärtused koguti kokku andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel ja moodustati koondtabel (vt tabel 3.5), mis võimaldab tulemusi omavahel võrrelda ja teha järeldusi.

Tabel 3.5. Survekatsete katse- ja arvutustulemuste koondtabel

Katsekeha nimetus	Katsekeha kirjeldus (loetuna seest välja)	Max F (N)	Survetugevus (MPa)	Elastsusmodul (Mpa)	Siire max F (mm)	Lõplik Siire (mm)	Jäävdef. (mm)
V 02 KK1-1	Kuusk	159578	24,93	6537,59	6,258	8,004	2,82
V 02 KK1-2	Kuusk	145157	22,68	5516,39	6,535	7,862	2,41
S 01 KK1-11	Tamm, haab, saar, tamm	328303	51,30	9848,79	10,500	15,522	9,61
S 01 KK1-12	Tamm, haab, saar, tamm	330887	51,70	9634,33	8,463	14,361	5,12
S 01 KK2-51	Saar, haab, kask, saar	377335	58,96	11504,57	8,383	10,478	3,32
S 01 KK2-52	Saar, haab, kask, saar	379498	59,30	12179,93	7,751	10,517	3,11
S 01 KK3-31	Saar, m.lepp, kask, saar	401790	62,78	12021,46	8,107	9,724	1,22
S 01 KK3-32	Saar, m.lepp, kask, saar	404855	63,26	11940,32	7,498	9,691	2,91
S 01 KK4-31	Kask, haab, kuusk, kask	305710	47,77	9969,10	7,433	8,268	1,13
S 01 KK4-32	Kask, haab, kuusk, kask	317908	49,67	10546,43	6,711	8,407	2,21

Pärast purustavaid survekatseid mõõdeti mõõdulindiga katsekeha jäävdeformatsioon. Purunemisgraafikud on toodud joonisel 3.5. Joonisel 3.6 on toodud massiivpuidu purunemispilt ja joonisel 3.7 on toodud kombineeritud ristlõikega liimpuitlati purunemispilt.



Joonis 3.5. Survekatsete purunemisgraafikud



Joonis 3.6. Katsekeha V 02 KK1-2 purunemispilt. (T.Teppand'i foto 2017)



Joonis 3.7. Katsekeha S 01 KK2-51 purunemispilt. (T.Teppand'i foto 2017)

3.2.2. Survekatsete analüüs

Võrreldes omavahel kõiki survekatsete tulemusi, siis võib sarnaselt paindekatsete analüüsile väita, et kõikide kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide survetugevused on suuremad kui massiivpuidu (kuusk) survetugevused. Suurim survetugevus (63,26 MPa) saavutati katsekehaga S 01 KK3-2, kus on kasutatud järgmisi puuliike (loetuna seest välja): saar, must lepp, kask ja saar.

Katsetatud materjal käitub sarnaselt tugeva lehtpuuga, kus vastavalt D70 tugevusklassiga lehtpuul moodustab survetugevus 48,5 % paindetugevusest (EVS-EN 338). Käesolevas lõputöös katsetatavatel katsekehadel moodustab survetugevus keskmiselt 51,3 % paindetugevusest. Kui võrrelda tugeva lehtpuidu (D70) survetugevust, mis on 34 MPa, katsetatud kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide survetugevusega, mis on kõikide katsekehade keskmisena 55,6 MPa, siis võib järeldada, et materjali survetugevus on hea. Kuna puitvõrkkoorikute puhul on sisejõududena kõige suuremalt esindatud pikijõud, siis materjali piisav survetugevus on väga oluline.

Katsetatav materjal survekatsetel paindekatsetega sarnast elastsust ei näidanud, kus massiivpuidu jäävdeformatsioonide keskmine oli 2,62 mm ning kombineeritud ristlõikega liimpuitlattide keskmine oli 3,58 mm. Selline tulemus on tingitud ka sellest, et esimeste katsekehade katsetamisel (S 01 KK1-11/12) jätkati katsekeha koormamist pärast purunemist liiga kaua, mis põhjustas tunduvalt suurema jäävdeformatsiooni. Survekatsetest võib järeldada, et materjal käitub survele massiivpuiduga sarnaselt, ning konstruktsioonide dimensioneerimisel peab sellega arvestama.

3.3. Märketapi katsete tulemused ja analüüs

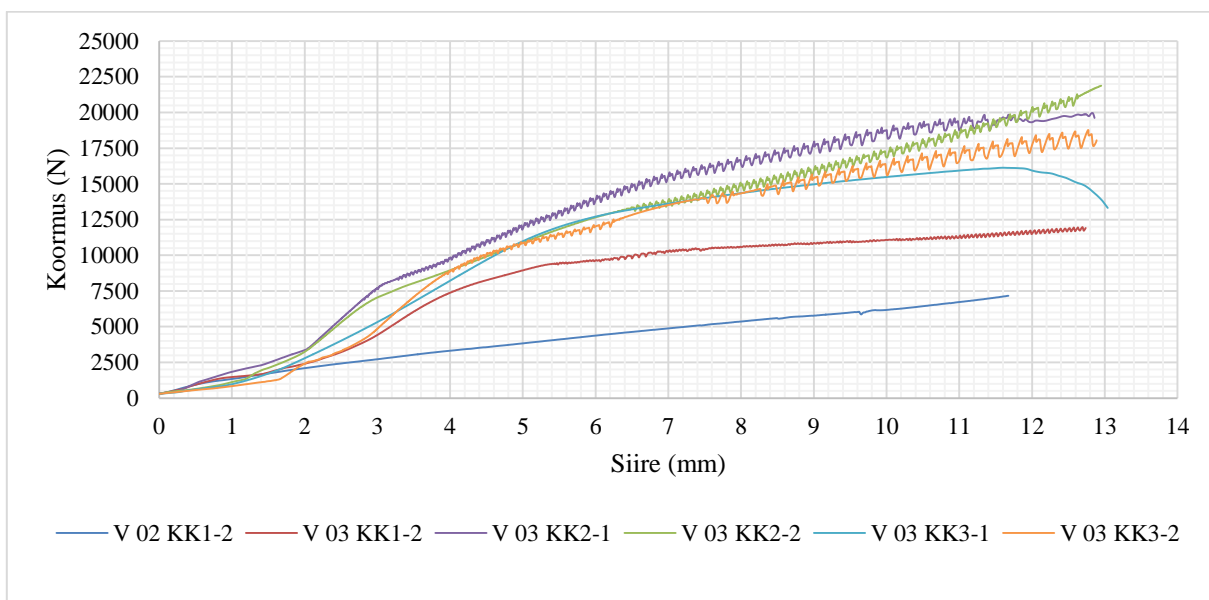
Märketapi katsed viidi läbi varasemalt V-seeria paindekatsetes purustatud katsekehadega. Uued katsekehad valmistati vastavalt meetodika osas kirjeldatule. Märketapi valitud sügavus (5 + 5 mm) on valitud selliselt, et saavutada maksimaalne võimalik tugevus. Samas peab olema tagatud kombineeritud ristlõikega liimpuitlatti välimise kihi toimivus.

Kõik märketapi katsed teostati Eesti Maaülikooli Metsanduse- ja maaehitusinstituudi Metsatööstuse osakonna katseseadmega INSTRON 3369. Katseseade tekitas katsekäigu kohta logifailid, mis imporditi andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel. Pärast andmete korrastamist koostati katse tulemuste kohta koondtabel (vt tabel 3.6).

Tabel 3.6. Märketapi katsetulemuste koondtabel

Katsekeha nimetus	Katsekeha kirjeldus (loetuna seest välja)	Max F (N)	Siire max koormusel (mm)	Lõplik Siire (mm)	Jäävdef. (mm)
V 02 KK1-2	Kuusk	7102	11,59	11,68	6,83
V 03 KK1-2	Tamm, haab, kask, tamm	11971	12,70	12,74	7,09
V 03 KK2-1	Tamm, m. lepp, tamm, saar	19935	12,93	12,95	7,15
V 03 KK2-2	Tamm, m.lepp, tamm, saar	21770	12,81	12,86	7,14
V 03 KK3-1	Saar, haab, kask, saar	16750	11,85	13,04	13,30
V 03 KK3-2	Saar, haab, kask, saar	18763	12,77	12,89	5,83

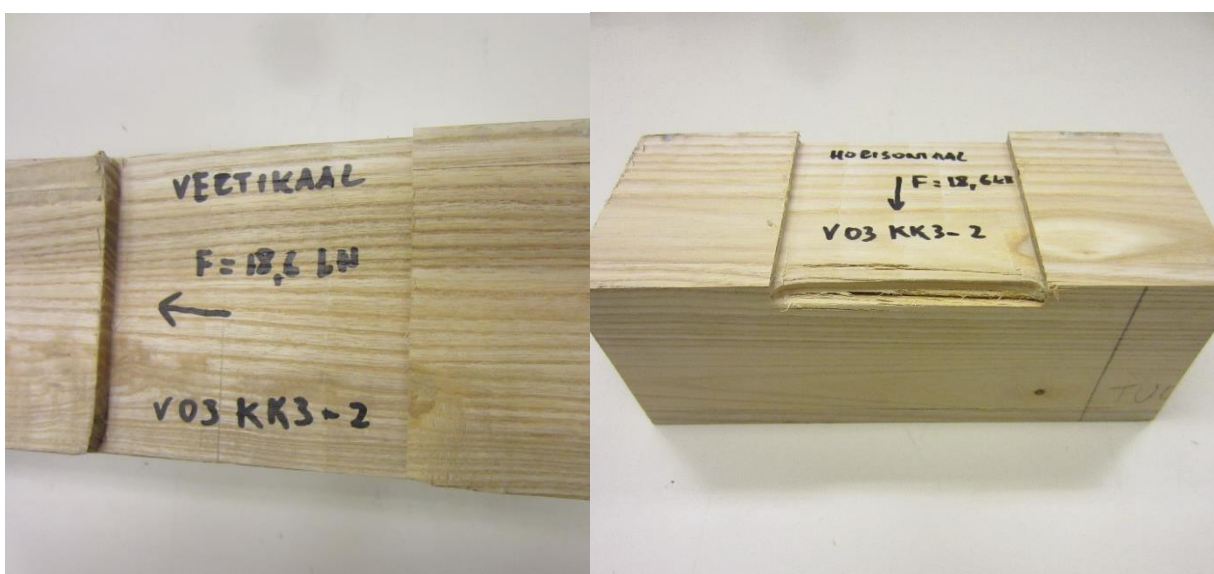
Pärast purustavaid märketapi katseid mõõdeti digitaalse nihkkaliibriga katsekeha jäävdeformatsioon. Purunemisgraafikud on toodud joonisel 3.8.

**Joonis 3.8.** Märketapi katsete purunemisgraafikud

Joonisel 3.9 on toodud massiivpuidu märketapi katse purunemispilt ja joonisel 3.10 kombineeritud ristlõikega liimpuitlati märketapi katse purunemispilt.



Joonis 3.9. V 02 KK1-2 purunemispilt. (T.Teppand'i foto 2017)



Joonis 3.10. V 03 KK3-2 purunemispilt. (T.Teppand'i foto 2017)

Märketapi katsed näitasid, et kombineeritud ristlõikega liimpuitlatid talusid paremini koormust kui massiivpuidust katsekehad. Selline märketapi sügavus (5 + 5 mm) on valitud materjali optimaalseima toimivuse põhjal. Edaspidiselt võiks katsetada erineva sügavusega märketappe, mis võimaldaks lõpuks koostada ka valemi, millega saab vastavalt mõjuvale koormusele arvutada vajaliku sügavusega märketapi.

3.4. Lattide omavahelise ühenduse katsete tulemused ja analüüs

3.4.1. Lattide omavahelise ühenduse katsete tulemused

Lattide omavahelise ühenduse katsetamisel kasutati S-seeria paindekatsetes purustatud katsekehasid. Tapikeel ja tapipesa ühendati omavahel kas kuivalt või liimiga ja katsed viidi läbi vastavalt metoodika osas kirjeldatule.

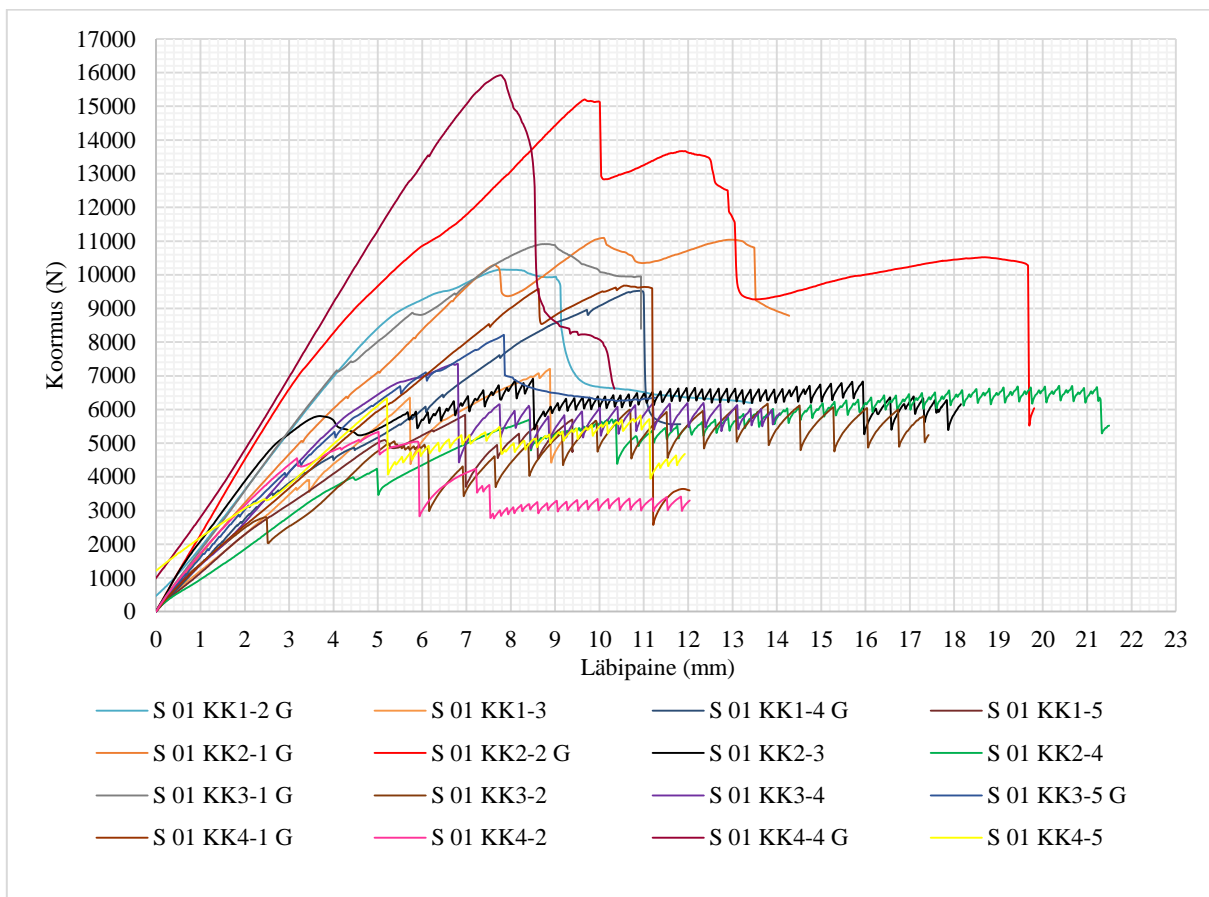
Kõik lattide omavahelise ühenduse katsed teostati Prantsusmaal, Nantes'is, Ecole Supérieure du Bois'i katseseadmega MTS DY36. Katseseade tekitas katsekäigu kohta logifailid, mis imporditi andmetöötlusprogrammi Microsoft Excel. Pärast andmete korrastamist leiti paindetugevused vastavalt metoodika osas esitatud valemitele. Kõik katse- ning arvutustulemused on toodud tabelis 3.6.

Tabel 3.6. Lattide omavahelise ühenduse katse- ja arvutustulemused

Katsekeha nimetus	Katsekeha kirjeldus (loetuna seest välja)	Max F (N)	Paindetugevus (MPa)	Läbipaine max F (mm)	Lõplik läbipaine (mm)	Jäävdef. (mm)
S 01 KK1-2 G	Tamm, haab, saar, tamm	10153	30,29	7,83	13,45	4,23
S 01 KK1-3	Tamm, haab, saar, tamm	7203	21,49	8,88	9,26	2,69
S 01 KK1-4 G	Tamm, haab, saar, tamm	9523	28,41	10,92	11,83	5,96
S 01 KK1-5	Tamm, haab, saar, tamm	5844	17,43	6,97	9,39	3,28
S 01 KK2-1 G	Saar, haab, kask, saar	11091	33,09	10,08	14,28	6,19
S 01 KK2-2 G	Saar, haab, kask, saar	15203	45,35	9,66	19,81	7,91
S 01 KK2-3	Saar, haab, kask, saar	6904	20,60	8,50	18,15	4,76
S 01 KK2-4	Saar, haab, kask, saar	6695	19,97	20,37	21,49	7,79
S 01 KK3-1 G	Saar, m.lepp, kask, saar	10911	32,55	8,76	10,94	5,93
S 01 KK3-2	Saar, m.lepp, kask, saar	6171	18,41	13,80	17,42	6,14
S 01 KK3-4	Saar, m.lepp, kask, saar	7355	21,94	6,81	14,07	4,07
S 01 KK3-5 G	Saar, m.lepp, kask, saar	8216	24,51	7,84	11,26	3,25
S 01 KK4-1 G	Kask, haab, kuusk, kask	9677	28,87	10,55	12,03	2,68
S 01 KK4-2	Kask, haab, kuusk, kask	5336	15,92	5,02	12,04	3,24
S 01 KK4-4 G	Kask, haab, kuusk, kask	15924	47,50	7,78	10,34	5,59
S 01 KK4-5	Kask, haab, kuusk, kask	6333	18,89	5,21	11,93	3,25

Sarnaselt paindekatsetele koormati katsekehasid edasi ka pärast maksimaalse koormuse saavutamist. Pärast purustavaid katseid mõõdeti digitaalse nihkkaliibriga katsekeha

jäävdeformatsioon. Purunemisgraafikud on toodud joonisel 3.11. Joonistel 3.12 on toodud kombineeritud ristlõikega liimpuitlati omavahelise ühenduse purunemispilt.



Joonis 3.11. Lattide omavahelise ühenduste katsete purunemisgraafikud.



Joonis 3.12. Katsekeha S 01 KK2-2 purunemispilt. (T.Teppand'i foto 2017)

3.4.2. Lattide omavahelise ühenduse katsete analüüs

Võrreldes paindekatsetest saadud paindetugevusi ja lattide omavahelise ühenduse katsetest saadud paindetugevusi, siis võib kindlasti väita, et viimasena nimetatud katsetulemused ei küündi materjali enda paindetugevuseni. S-seeria paindekatsete keskmine paindetugevus on 106 MPa ning lattide omavahelise ühenduse katsete keskmine paindetugevus on 26 MPa. See tähendab, et selliselt lahendatud ühenduste paindetugevus moodustab kõigest 24,5 % materjali enda paindetugevusest.

Kindlasti peab tähelepanu juhtima sellele, et tapikeele ja tapipesa omavahelises ühenduses kasutatud liim tegi ühenduse tugevamaks. Liimitud ühenduste keskmine paindetugevus on 33 MPa ning liimimata ühenduste keskmine paindetugevus on 19 MPa, ehk liimimata ühendus moodustab 57,6 % liimitud ühenduse paindetugevusest. Sellise tulemuse põhjal saab teha järelduse, et liimi kasutamine lattide omavahelises ühenduses on kindlasti tugevama ühenduse saavutamiseks vajalik.

Praegu võib öelda, et lattide omavahelised ühendused ei andnud soovitud tulemusi ning sellise tugevusega ühendused oleksid kogu puitvõrkkooriku toimivuse kõige nõrgemad kohad.

3.5. Katsekehade mikroskoobiga uurimise tulemused ja analüüs

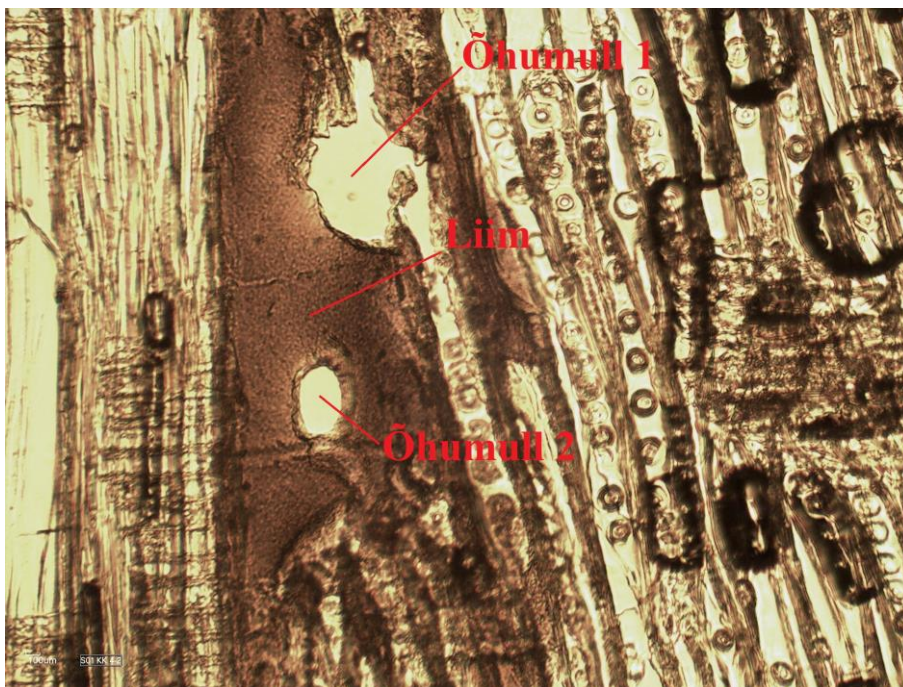
Valgus- ja elektronmikroskoobiga uuritakse varasemates katsetes purustatud katsekehade näidiseid ning keskendutakse just erinevate puitlamellide ühenduskohtade ja liimikihi uurimisele. Hinnatakse liimikihi paksust ja võimalusel ka liimi imendumise sügavust erinevatesse puiduliikidesse. Lisaks vaadeldakse puidu anatoomiliste (traheed, libriformkiud) elementide täituvust liimiga (Saarman, Veibri 2006). Kindlasti pööratakse tähelepanu erinevate puiduliikide rakustruktuuri muutustele ja deformatsioonidele ning üritatakse luua seoseid eelnimetatud tunnuste ja katsekehade käitumiste kohta paindekatsetel.

Järgnevalt on esitatud kaks näidet valgusmikroskoobiga uuritud katsekehade (vt joonis 3.13 ja 3.14) kohta ning kaks näidet elektronmikroskoobiga uuritud katsekehade (vt joonis 3.15 ja 3.16) kohta. Joonistele järgneb mikroskoobipildi kirjeldus ja analüüs.



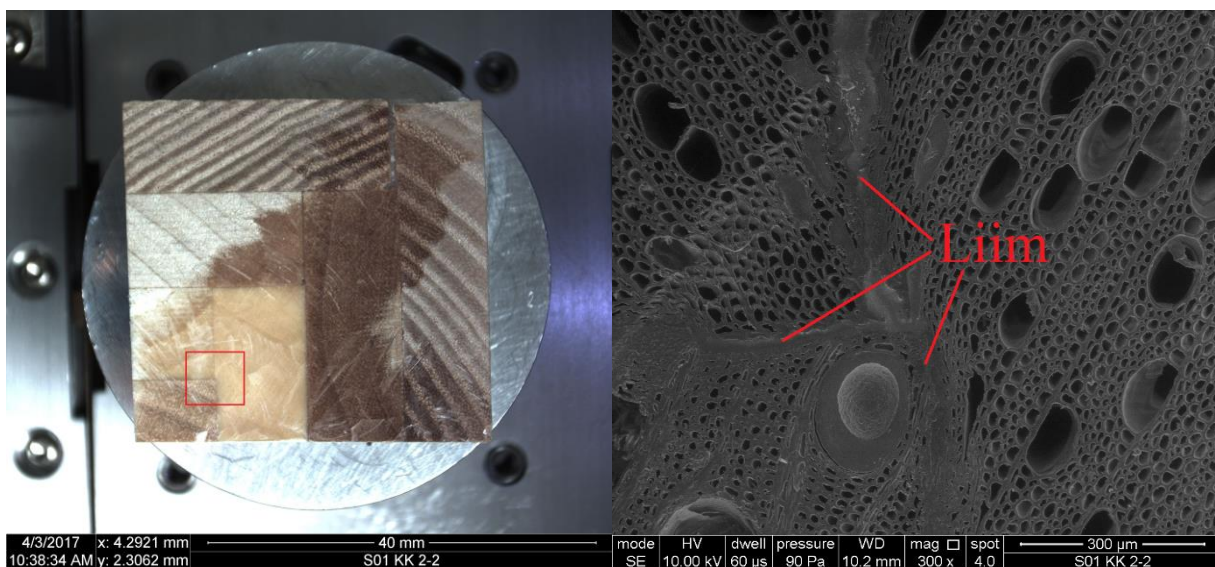
Joonis 3.13. Katsekeha S 01 KK3-2 musta lepa- ja kaselamelli vaheline liimikihi külgpind. (Zeizz Germany Standard 20 foto)

Joonisel 3.13 on kujutatud valgusmikroskoobiga uuritud katsekeha S 01 KK3-2 musta lepa- ja kaselamelli vahelist liimikihi külgpinda. Jooniselt on näha, et liimikihi paksus on ühtlase laiusga (ca 100...200 μm) ning mõlemasse puitlamelli sarnaselt imbunud. Liimikiht on ühtlane ja õhumullid puuduvad, märgata ei ole ka rakustruktuuri muutusi ega muid deformatsioone, millest võib järeldada, et uuritavas piirkonnas ei ületatud purustaval katsel maksimaalseid nihkepingeid, mida liimühendus vastu suudab võtta.



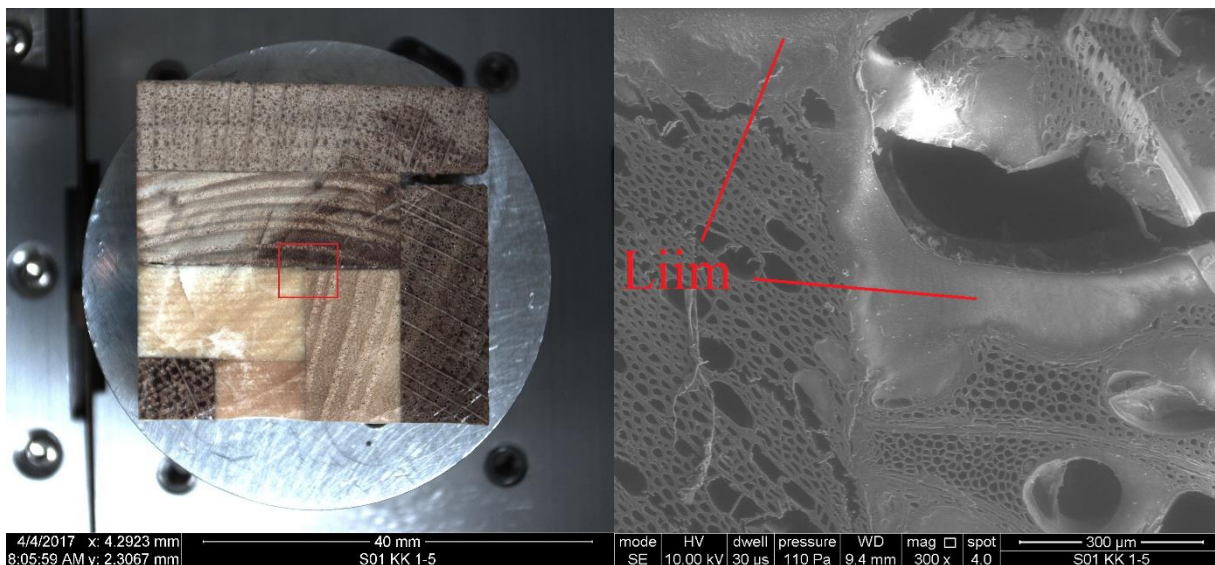
Joonis 3.14. Katsekeha S 01 KK4-2 haava- ja kuuselamelli vaheline liimikihi külgpind. (Zeizz Germany Standard 20 foto)

Joonisel 3.14 on kujutatud valgusmikroskoobiga uuritud katsekeha S 01 KK4-2 haava- ja kuuselamelli vahelist liimikihi külgpinda. Jooniselt on näha, et liimikihi paksus on väga ebaühtlase laiusega (ca 100...650 μm) ning kuuselamelli on liim sügavamale imbunud. Selline olukord võib olla tingitud puidulamellide erinevast suunast, töödeldud pinna kvaliteedist ja konkreetsel uuritava kohal võib olla mehaaniline vigastus. Erinevalt eelmisest joonisest on liimikiht ebaühtlane ja on näha ka õhumulle. Esimese õhumulli ülemises ja paremas ääres on märgata ka deformatsioone, millest võib järeldada, kas purustaval katsel ületatud maksimaalseid nihkepingeid. Või on lihtsalt tegemist olukorraga, kus väga laia liimikihi tõttu on kuivamisel tekkinud liimikihi mahukahanemine ja sellega seoses on kuuselamelli küljest lahtiseid osakesi lahti rebitud.



Joonis 3.15. Katsekeha S 01 KK2-2 saare- ja haavalamellide vahelise liimikihi ristlõike pind. (Quanta 250 foto)

Joonisel 3.15 on kujutatud elektronmikroskoobiga uuritud katsekeha S 01 KK2-2 saare- ja haavalamellide vahelist liimikihi ristlõike pinda. Jooniselt on näha, et liimikihi paksus on võrdlemisi ühtlase laiusega (ca 50...150 µm) ning on näha, et liimi imbumise sügavus kõikides lamellides on võrdne ja liim ei ole tunginud suletud libriformkiududesse (Saarman, Veibri 2006). Saarelamelli nurgas on näha liimiga täitunud trahheedi (Saarman, Veibri 2006). Vaadeldavas lõikes on trahhee suletud, aga võib arvata, et puitu on töödeldud nurga all ning trahhee on lõikunud liimimise pinnaga ja täitunud liimiga. Veel on saarelamelli nurgas märgata haavalamelli muljumist. See on tingitud puitlamellide ebatäpsusest ja muljumine on toimunud just haavalamellil, sest saarepuit on tugevam ning haavapuit pehmem. Käesoleval joonisel ei ole märgata rakustruktuuri muudatusi ega ka muid deformatsioone. Lisaks võib väga heaks lugeda kogu katsekeha liimivuukide täituvust, ehk puuduvad tühimikud või muud liimikihi puudused, mis võiksid kogu katsekeha tugevust mõjutada.



Joonis 3.16. Katsekeha S 01 KK1-5 haava- ja saarelamellide vahelise liimikihi ristlõike pind. (Quanta 250 foto)

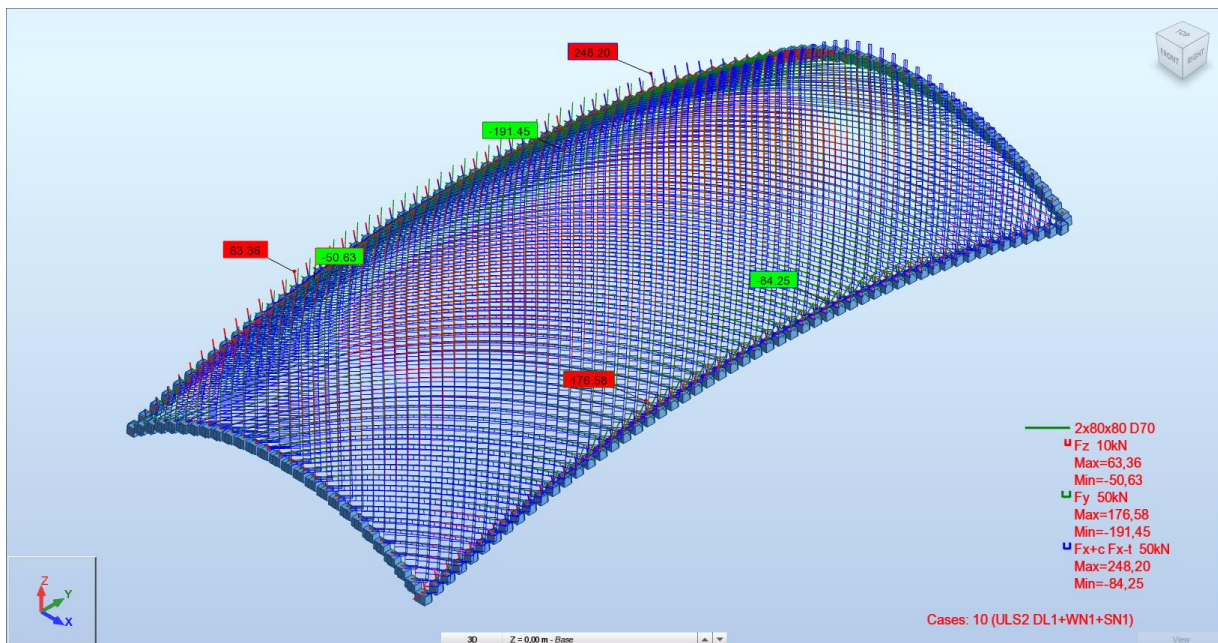
Joonisel 3.16 on kujutatud elektronmikroskoobiga uuritud katsekeha S 01 KK1-5 haava- ja saarelamellide vahelist liimikihi ristlõike pinda. Jooniselt on näha, et liimikihi paksus on erinevalt eelmisest joonisest väga ebaühtlase laiusga (ca 50...500 μm). Samas on näha, et liimi imbumise sügavus kõikides lamellides on võrdne ja liim ei ole tunginud suletud libriformkiududesse (Saarman, Veibri 2006). Sellest võib järeldada, et puitu on töödeldud puidukiududega paralleelses sihis. Selles lõikes on hästi näha ka haavalamellide ja liimikihi vahel deformeerunud ja purustatud rakustruktuuri, millest võib järeldada, et paindekatsedel ületati maksimaalsed nihkepinged. Selline purunemine (kus puruneb liimi lähedalt puit mitte liimühendus ise) iseloomustab hästi ka liimikihi nakkuvust ja tugevust. Käesoleval lõikel on hästi näha ka puitlamellide ebatäpsusest põhjustatud tühimik saarelamellide liimikihis, mis võib oluliselt mõjutada kogu katsekeha toimivust ja tugevust.

3.6. LEM programmiga saadud tulemused ja analüüs

Varasemalt Autodesk Revit 2017 arvutiprogrammis modelleerimise lihtsustamiseks koostatud kahekihilisele puitvõrkkoorikule määrati Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017

arvutiprogrammis kahekihiline D70 tugevusklassiga puitprofiil (Pabort 2014). Selliselt saadakse soovitud neljakihiline puitvõrkkoorik.

Järgnevalt läbiti kõik metoodika osas kirjeldatud sammud ning teostati maksimaalsete pikijõudude (vt joonis 3.13) ja maksimaalsete paindemomentide (vt joonis 3.14) väljatrükk, lisaks ka pikipingete kaart (vt joonis 3.15). Maksimaalsed sisejõud saadi konstruktsioonile kõige ebasobivamat mõju avaldava koormuskombinatsiooni puhul. Esitatud ei ole deformatsioonide joonist, kuna see eeldab materjali täpsemat defineerimist.



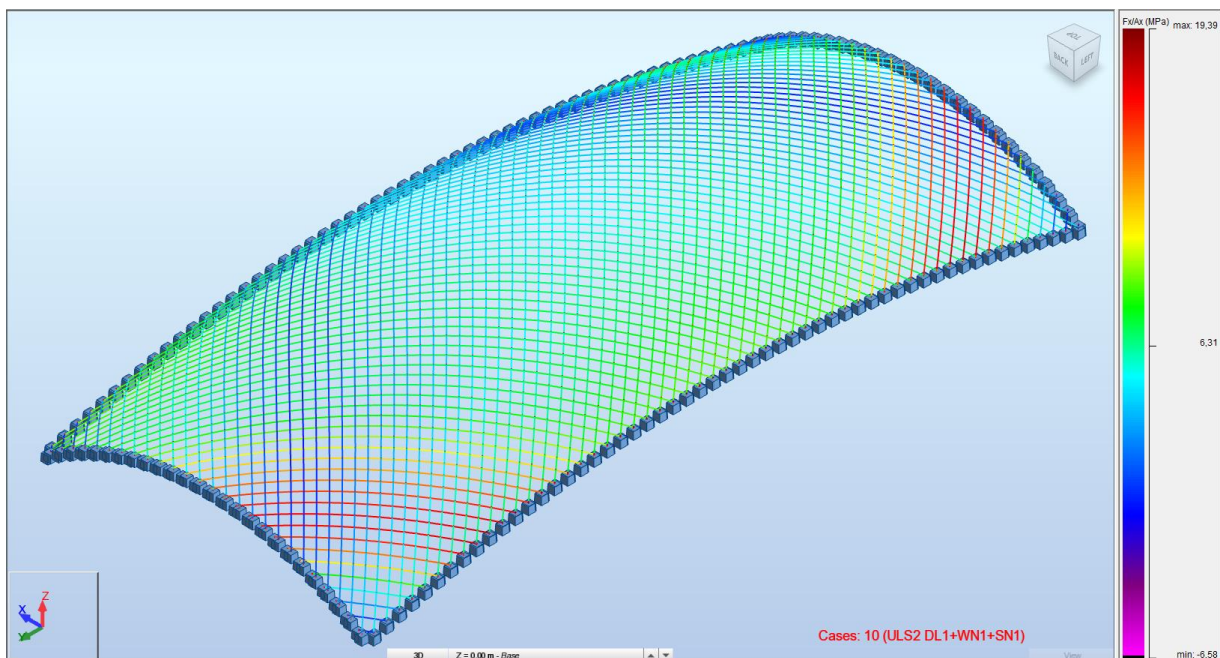
Joonis 3.13. Maksimaalsed globaalsed pikijõud LEM programmis

Joonisel 3.13 on näha, et puitvõrkkooriku maksimaalsed pikijõud tekivad tugele lähedale ning maksimaalne survejõud on 248,20 kN. Kuna kõikidele varrastele on defineeritud kahekihiline puitprofiil, siis tuleks joonisel kuvatud väärtus jagada kahega, et saada ühe lati poolt vastu võetav sisejõud. Selliselt toimides saab maksimaalseks survejõuks 124,10 kN. Kui võrrelda survekatsete tulemusi LEM programmis saadud tulemustega, siis võib väita, et sellist sisejõudu on võimelised vastu võtma kõik survekatsetes katsetatud katsekehad. Kus massiivpuidu (kuusk) purustavad koormused olid 145,16 kN ja 159,58 kN ja kombineeritud ristlõikega liimpuitlattidel

Vaadetes maksimaalseid puitvõrkkoorikus tekkivaid paindemomente, siis võib ka siin näha, et maksimaalne paindemoment (62,95 kNm) tekib tugede lähedale. Sarnaselt pikijõududele tuleks ka see väärtus kahega jagada, et saada ühe lati poolt vastu võetav paindemoment. Maksimaalseks paindemomendiks saab siis 31,48 kNm. Kui võrrelda paindekatsete tulemusi LEM programmis saadud tulemustega, siis võib kindlasti väita, et sellist sisejõudu ei ole ükski paindele katsetatud katsekehast suuteline vastu võtma. Kus massiivpuidu (kuusk) purustavad paindemomendid olid 1,76...3,97 kNm ja kombineeritud ristlõikega liimpuitlattidel 4,16...8,28 kNm. Kuna käesolevas puitvõrkkoorikus tekkivad maksimaalsed paindemomendid on oluliselt suuremad kui katsetatava materjali tugevusomadused, siis sellise geomeetriaga puitvõrkkoorikut katsetatud kombineeritud ristlõikega liimpuitlattidega konstrueerida ei saaks.

74

võrdlus näitas, et survetugevuses on veel palju varu. Lisaks saab katsetada ka teistsuguseid toetingimusi, mis muudaks oluliselt maksimaalsete paindemomentide asukohta konstruktsioonis. Käesolevas lõplike elementide mudelis on lattide sammuks valitud 1,2 m, mis tähendab, et ka lattide sammu vähendamisega on võimalik sisejõudusid hajutada.



Joonis 3.15. Pikipingete kaart LEM programmis

Pikipinged ja pikijõud on otseselt seotud, kus maksimaalsed pikijõud on jagatud lattide ristlõikepindalaga. Sellega seoses on survekatsete ja LEM programmis saadud tulemuste võrdlus analoogne maksimaalsete pikijõudude võrdlusega.

Pikipingete joonis annab hea ülevaate sellest, kus paiknevad kõige rohkem koormatud latid ja millised piirkonnad vähem koormatud. Selline analüüs võimaldab konstruktsiooni geometriat muuta ja võimalusel valida ka erineva tugevus- ja jäikusomadustega materjale. Kindlasti ei tohi geometria muudatusi teostada ainult ühe koormuskombinatsiooni pingete kaardi järgi, vaid tuleb arvesse võtta erinevaid koormuskombinatsioone.

KOKKUVÕTE

Koorikkonstruksioonid omavad suurt ajaloolist tähtsust ning varasemalt peamiselt betoonist konstrueeritud koorikute kõrvale jõudsid nii metallist kui ka puidust võrkkoorikud. Puitvõrkkoorikud on oma projekteerimise ja püstitamise keerukuse tõttu kahetsusväärselt vähe tähelepanu saanud. Koostatud magistritöö peamiseks eesmärgiks oli uurida uuenduslikku puitmaterjali, mis lihtsustaks oluliselt puitvõrkkoorikute püstitamist ja modelleerimist.

Käesolevas lõputöös valmistati erinevatest puiduliikidest õhukesed puitlamellid mõõtudega 10x70; 10x50; 10x30 ja 20x20 mm, mis liimiti omavahel neljas kihis kontsentriliselt kokku niiskuskindla puiduliimiga Eskaro B3. Erinevalt tavalisest liimpuidust tagab puitlamellide kontsentriline asetus liimpuitlatti mõlemas sihis (y;z) võrdse toimivuse. Liimpuitlattide koostamisel kasutati kuute erinevat puiduliiki: tamm, saar, haab, kask, must lepp ja kuusk. Puitlamellide kokku liimimiseks konstrueeriti spetsiaalsed terasrakised, mis võimaldasid liimimisel avaldatud surve ühtlast jaotust katsekehale.

Esimesena liimiti kokku V-seeria katsekehad, kus puitlamellidele avaldati liimimise ajal lihtsat survet. Järgmisena liimiti kokku S-seeria katsekehad, kus lisaks liimimise ajal surve avaldamisele nihutati kontrollitult lamelle üksteise suhtes selliselt, et katsekeha ühte otsa tekiks tapikeel ja teise otsa tapipesa. Selline liimimise meetodika võimaldab katsekehasid üksteise otsa asetada ning nihutatud lamellidega liimühendus peaks tagama parema tugevuse.

Järgnevalt sooritati koostatud katsekehadega painde- ja survekatsed ning lisaks katsetati ka tapikeele ja tapipesa omavahelise ühenduse tugevust ning puitlattide ristumisel kasutatava märketapi koormustaluvust. Katsetulemuste võrdlemiseks teostati katsed ka sama geomeetriga massiivpuidust (kuusk) katsekehadega. Pärast tugevuskatseid lõigati purustatud katsekehadest näidised, mida uuriti valgus- ja elektronmikroskoobiga.

Katsetulemusi töödeldi andmetöötlusprogrammis Microsoft Excel, kus teostati statistiline analüüs ning teostati vajalikud arvutused. Kindlasti võib väita, et koostatud uuenduslik

kombineeritud ristlõikega liimpuidust materjal on tavalisest massiivpuidust tugevam. Katsetatud massiivpuidu keskmine paindetugevus on 45,92 MPa ja keskmine survetugevus 23,81 MPa. Nihutamata lamellidega liimpuidu (V-seeria) keskmine paindetugevus on 100,39 MPa, V-seeria katsekehadega survekatseid ei teostatud. Nihutatud lamellidega liimpuidu (S-seeria) keskmine paindetugevus on 106,28 MPa ning keskmine survetugevus 55,59 MPa. Lisaks saab järeldada, et ka nihutatud lamellidega liimpuidul on suurem paindetugevus. Kindlasti peab tähelepanu juhtima ka kombineeritud ristlõikega liimpuitlattice elastsusmoodulile, mis on keskmiselt 14474 MPa. Selline väärtus näitab väga kõrgete paindetugevuste juures materjali suurt elastsust.

Häid tulemusi näitasid ka puitlattice ristumisel kasutatava märketapi katsed, kus massiivpuidust märketapi keskmine purustav koormus on 7,10 kN ja nihutamata lamellidega liimpuidu märketapi keskmine purustav koormus on 17,84 kN. Nihutatud lamellidega liimpuiduga märketapikatseid läbi ei viidud.

Tapikeele ja tapipesa omavahelisi ühendusi koostati kahes variandis: liimitult ja kuivalt. Liimitud katsekehade keskmine paindetugevus on 33,82 MPa ning kuivalt ühendatud katsekehade keskmine paindetugevus on 19,33 MPa. Võrreldes neid väärtusi materjali enda paindetugevusega võib kindlasti väita, et ei saavutatud soovitud tulemusi ning selliselt lahendatud ühendused oleksid puitvõrkkooriku kõige nõrgemad kohad.

Parema lattice omavahelise ühenduse saavutamiseks on tulevastest katsetes vaja proovida tapikeele ja tapipesa pikendamist. Praegustes katsetes oli ühenduse pikkuseks 26 mm, aga see pikkus võiks suurem olla ja optimaalse tapikeele ning tapipesa pikkuse saab välja selgitada katsetega. Lisaks ühenduse pikkuse suurendamisele võiks mõelda ka lamellide omavahelisele lukustamisele vähemalt välimises kihis. Selline mõte tugineb sellel, et kõik lattice omavahelise ühenduse katsekehad purunesid nii, et tapipesa tõmbetsooni välimine lamell rebiti tapikeele lamellide küljest lahti. Kui leida lahendus lamellide omavaheliseks sidumiseks või lukustamiseks näiteks lamelliotsade töötlemisel kaldnurga alla, siis oleks sellel positiivne mõju ühenduse tugevusele.

Paralleelselt materjalikatsetustega teostati ka puitvõrkkooriku modelleerimine arvutiprogrammidega Autodesk Revit 2017 ja Autodesk Robot Structural Analysis professional 2017. Modelleerimisel võeti aluseks varasemalt õppeaines „Tootmishoonete projekteerimine“ koostatud kursuseprojekti katusekonstruktsiooni geomeetria. Lõplike elementide meetodiga saadud sisejõudusid võrreldi purustavates katsetes saadud materjalide tugevusomadustega.

Uuendusliku materjali esialgsed tugevus- ja jäikusomadustega näitavad väga suurt potentsiaali ning enamus püstitatud hüpoteesid said ka positiivse vastuse. Kindlasti peab materjali põhjalikumalt uurima ning kõige paremate omadustega kombinatsioone suuremas mahu katsetama, et põhjanevaid järeldusi teha. Käesoleva magistritööga on esialgne uuring teostatud ning siit on hea põhjalikumalt edasi minna.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Autodesk Revit learn & explore. (2017). Autodesk knowledge network. [WWW] <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore?sort=score> (15.04.2017).
2. Eesti metsavarud 2016. aastal riikliku metsainventeerimise alusel. (2016). Keskkonnaagentuur. [WWW] <http://www.keskkonnaagentuur.ee/et/eesti-metsavarud-2016-aastal-riikliku-metsainventeerimise-alusel> (24.04.2017).
3. EVS-EN 338:2016. (2016). Ehituspuit. Tugevusklassid. Eesti standardikeskus.
4. EVS-EN 408:2010+A1:2012. (2012). Ehituspuit ja liimpuit. Mõnede füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste määramine. Eesti standardikeskus.
5. EVS-EN 1990:2002+A1:2006+AC:2010. (2010). Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused. Eesti standardikeskus.
6. EVS-EN 1991-1-1:2002+AC:2009. (2009). Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused. Eesti standardikeskus.
7. EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016. (2016). Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. Eesti standardikeskus.
8. EVS-EN 1991-1-4:2005+A1:2010+NA:2010. (2010). Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. Eesti standardikeskus.
9. EVS-EN 1995-1-1:2005+A2:2014. (2014). Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks. Eesti standardikeskus.
10. EVS-EN 10079:2008. (2008). Terastoodete määratlus. Eesti standardikeskus.

11. EVS-EN 14080:2013. (2013). Puitkonstruktsioonid. Lamell-liimpuit ja plankliimpuit. Nõuded. Eesti satandardikeskus.
12. **Happold, E., Liddell, W., I.** (1975). Timber lattice roof for the Mannheim Bundesgartenschau. London, Inglismaa.
13. **Harris, R., Dickson, M., Kelly, O., Roynon, J.** (2004). The Use of Timber Gridshells for Long Span Structures. – 8th International Conference on Timber Engineering. Lahti, Finland.
14. **Harris, R. ja Roynon, J.** (2008). The Savill Garden Gridshell Design and Construction.- 10th World Conference of Timber Engineering. Miyazaki, Japan
15. **Lidell, I.** (2015). Frei Otto and the development of gridshells. – Case Studies in Structural Engineering. Suffolk: Elsevier. lk 39-49.
16. Mannheim Multihalle. (2013). Evolution of German shells: Efficiency in form. Princeton University, Department of Civil and Environmental Engineering. [WWW] <http://shells.princeton.edu/Mann1.html> (03.02.2017).
17. **Mäkipuro, R.** (2007). Puidust kooriktarindid. – Puuinfo. 1. lk 27-37.
18. **Naicu, D.** (2012). Geometry and Performance of Timber Gridshells. (Master of Philosophy). The University of Bath, Department of Architecture and Civil Engineering. Bath.
19. **Nurme, P., Teppand, T., Teppand, S.** (2017). Katsete raport. Eesti Maaülikool, Metesandus- ja maaehitusinstituut, Maaehituse osakond. Tartu.
20. **Nurme, P., Teppand, T., Irle, M., Buchner, J., Duval, P.** (2017). Test report. Estonian University of Life Sciences / Ecole Supérieure du Bois. Tartu / Nantes.
21. **Oldenbourg, R.** (2013). Polarized light microscopy: principles and practice. Woods Hole: Cold Spring Harb Protocols.
22. **Pabort, R.** (2014). Autodesk Robot Structural Analysis Professional õppematerjal. (Õppeaine „Raalprojekteerimine“ õppematerjal). Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž. Tartu.

23. **Riistop, M.** (2008). Saville Gardeni külastuskeskus. – Puuinfo. 2. lk 12-15.
24. **Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Eesti metsaselts. Tartu: Vali Press OÜ.
25. **Stokes, D.** (2008). Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM). Chichester: John Wiley & Sons.
26. Suured puitehitised. (2009). Puuinfo. [WWW] <http://puuinfo.ee/ehitamine/suured-puitehitised/> (03.02.2017).
27. **Tärno, Ü.** (2000). Plaadi- ja koorikumehaanika. Tallinn: TTÜ Kirjastus. 137 lk.

STRENGTH TESTS OF DIFFERENT WOOD SPECIES GLULAM BARS AND MODELLING A MOUNTABLE GRIDSHELL FROM THEM

Summary

Shell constructions have great historical importance and were formerly constructed mainly from concrete, but gridshells constructed from metal and timber started to rise too. Timber gridshells are not very popular now, because of complicated design and construction process. The present master's thesis aim is to develop a new material that would simplify timber gridshell design and construction process.

In the present thesis a thin timber lamellas out of different wood species were made with measurements of 10x70; 10x50; 10x30 and 20x20 mm. They were glued together in four layers with moisture resistant timberglue Eskaro B3 in a concentric fashion. Unlike usual glulam, the concentrically placing will ensure equal effectiveness in both directions (y;z). Making glulam bars, altogether six different wood species were used: oak, ash, aspen, birch, aspen and spruce. To glue timber lamellas together a special steel appliances were made, which allowed to spread the gluing pressure equally to the specimen.

Firstly V-series specimens were glued together, where timber lamellas were just pressured during the gluing. Next, the S-series specimens were glued together, where in addition to pressure, the timber lamellas were controllably shifted during the gluing process, so in one end of the specimen it will generate a mortise and in the other end a tenon. This method will allow to connect the specimens to each other and shifted lamellas should assure stronger glue line.

Next, bending and compressive tests were done with all of the specimens and tenon – mortise joint tests were carried trough too. A bars crossing lap joint were tested also. To compare test

results a same size solid timber (spruce) specimens were tested too. After the tests, samples were cut from destructed specimens and they were studied by light and electron microscope.

All the test results were processed with data software Microsoft Excel, where a statistical analysis and calculations were carried through. Test results showed, that new combined section glulam material is stronger than usual solid timber. Tested solid timber average bending strength is 45,92 MPa and average compressive strength is 23,81 MPa. Unshifted lamellas glulam (V-series) average bending strength is 100,39 MPa, compressive tests were not carried through with V-series. Shifted lamellas glulam (S-series) average bending strength is 106,28 MPa and average compressive strength is 55,59 MPa. It must be said, that combined section glulam material has a relatively low modulus of elasticity, an average of 14474 MPa. This value shows a great material elasticity as well as it has high bending strength.

Good results were also shown in bars crossing lap joint tests, where solid timber average destructive load is 7,10 kN and unshifted lamellas glulam lap joint average destructive load is 17,84 kN. Lap joint tests were not carried through with shifted lamellas glulam specimens.

Tenon – mortise joint tests were done in two different ways: glued and dry. Glued specimens average bending strength is 33,82 MPa and dry specimens average bending strength is 19,33 MPa. Comparing these values to material's overall strength it is obvious that tenon – mortise joint tests haven't achieved the goals that were expected and joint strength was significantly lower than the material overall strength.

In order to achieve better tenon – mortise performance in further tests different connection lengths should be tried. In these tests 26 mm length was tried, but this length should be longer and optimal tenon – mortise length could be found out by further tests. In addition to longer connection, some kind of a joint lock could be used at least in the outer layer. This thought is based on the fact, that all of the destructive tests ended with the outer lamella teared off from the tenon. If a solution is created, where outer layer lamellas are locked with each other, this would improve the tenon – mortise joint strength.

Aside to new material tests a timber gridshell is modeled based on a concrete example from previous subject "Tootmishoonete projekteerimine", with Autodesk Revit 2017 and finite

element computer software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017. It was loaded with appropriate loads and internal forces were compared with test results.

Innovative material's preliminary strength and stiffness results are showing great potential and most of the hypothesis had a positive answer. A further radical research should be done and the best glulam bar wood species combinations should be tested in a greater capacity to make fundamental conclusions. Present master's thesis has covered the preliminary research of this new material and has established a good ground to go further.

LISAD

Lisa 1. Puiduliimi Eskaro B3 sertifikaat ja tootekirjeldus



STATYBOS PRODUKCIJOS CERTIFIKAVIMO CENTRAS

Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, Lietuvos Respublika

CERTIFICATE OF CONFORMITY OF PRODUCTION CONTROL

Product	General and special purpose building paints, varnish, impregnates and primers (see Annex 1)
Type	Acrylic, alkyd, silicone paints, varnish and primers Oil for wood
Intended use	General and specials for internal (BPI) and external (BPE) use: for anticorrosive protection (C), resistance against chemical materials (CH), water resistance (W), mechanical action (M), heat resistance (T), vapour permeability (VP) (see Annex 1)
Manufacturer	AS Eskaro, Fosforidi 20, 74114 Maardu, Estonia
Manufacturing plant	AS Eskaro, Fosforidi 20, 74114 Maardu, Estonia
Requirements	Parameters: drying time, water resistance, resistance against chemical materials, adhesion, web-scrub resistance, heat resistance, vapour permeability.

This certificate is issued having performed actions prescribed for system 2+ in STR 1.01.04:2013 and confirms that the internal production control complies with requirements set out in this certificate.

Number	SPSC-9285
Date of issue	2014-06-20
Valid until	2017-06-20 (information www.spsc.lt)
Granted to	AS Eskaro, Fosforidi 20, 74114 Maardu, Estonia, company code 10040437

Director

Robertas Encius

Copy Nr.1



VĮ Statybos produkcijos sertifikavimo centras is the body for certification of building products designated by Minister of Environment.



STATYBOS PRODUKCIJOS CERTIFIKAVIMO CENTRAS

Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, Lietuvos Respublika

ANNEX 1 TO CERTIFICATE Nr. SPSC-9285

Issued 2014-06-20

Type	Product	Intended use							
		BPI	BPE	W	CH	M	C	T	VP
Acrylic paints, primers, varnish	Lateks	X							
	AURA Dekor Relief	X	X						
	Sympathia	X							
	Titan LUX	X							
	FLAT	X							
	Structura	X							
	AURA Malare	X							
	AURA Mastare	X							
	Symphony	X							
	Akrit-2	X							
	Akrit-4	X							
	Akrit-7	X				X			
	Akrit 12	X				X			
	Akrit 20	X				X			
	Mattilda	X				X			
	Aquamaster	X				X			
	Element	X				X			
	Norden 30	X				X			
	Norden 70	X				X			
	Akzent	X				X			
	AURA Luxpro 3	X							
	AURA Luxpro 7	X				X			
	AURA Luxpro 12	X				X			
	Oikea Paneelimaali	X							
	PRO 3	X							
	PRO 7	X				X			
	ECO 3	X				X			
	ECO 7	X				X			
	PRO 20	X				X			

Director

Robertas Encius

Page 2 of 5



STATYBOS PRODUKCIJOS SERTIFIKAVIMO CENTRAS

Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, Lietuvos Respublika

ANNEX 1 TO CERTIFICATE Nr. SPSC-9285

(continuation)

Type	Product	Intended use							
		BPI	BPE	W	CH	M	C	T	VP
Acrylic paints, primers, varnish	Easy 3	X							
	Easy 7	X				X			
	Easy 20	X				X			
	Katuse.varv	X							
	RK-Peltikattomaali		X						
	Primo 2	X							
	Objekt	X							
	Rootsi pun. Muldvärv		X						
	Monolit		X						
	Aquastop Façade		X						
	Aquastop	X							
	Aquastop-Prof.	X							
	Aquastop Bond,	X							
	AURA Terrace Aqua		X						
	AURA Terrace Aqua,brown		X						
	Tiefgrund	X							
	AURA Unigrund Kraft	X							
	Contact grunt	X							
	RITARI		X						
	Parketilakk WE	X							
	Parketilakk WE Extra	X							
	GRANIT lakk	X	X						
	Saunalakk	X							
	Kabinet	X							
	Mööblilakk	X							
	AURA Wood Cleaner		X						
Alkyd paints, primers, varnish	AURA Terrace		X						
	Aura Balance	X	X						
	Aura Lasur	X	X						

Director

Robertas Encius

Page 3 of 5



STATYBOS PRODUKCIJOS SERTIFIKAVIMO CENTRAS

Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, Lietuvos Respublika

ANNEX 1 TO CERTIFICATE Nr. SPSC-9285

(continuation)

Type	Product	Intended use							
		BPI	BPE	W	CH	M	C	T	VP
Alkyd paints, primers, varnish	Pūuöljy		X						
	Veranda Primer Aqua		X						
	AURA Color Wood Aqua	X	X						
	Terassiiöljy		X						
	AURA Terrace Aqua		X						
	AURA Terrace Aqua,brown		X						
	Windoora	X	X						
	Accord 30	X	X			X			
	Accord 90	X	X			X			
	Ahjuvärv	X				X			
	Accord TIX	X	X			X			
	Accord Metal	X	X			X			
	Kruntex	X							
	Kantri		X						
	Ruostepohja harmaa	X							
	Floor	X	X			X			
	Veranda		X						
	Granit Lakk S	X	X						
	Parketilakk SE30	X				X			
	Parketilakk SE60	X				X			
	Puidulakk 45	X							
	Puidulakk90	X							
	Puidulakk 10	X							
	Marine lakk 10	X	X						
	Marine Lakk 90	X	X						
	Marine Lakk 40	X	X						

Director



Robertas Encius



STATYBOS PRODUKCIJOS SERTIFIKAVIMO CENTRAS

Linkmenų g. 28, LT-08217 Vilnius, Lietuvos Respublika

ANNEX 1 TO CERTIFICATE Nr. SPSC-9285

(continuation)

Type	Product	Intended use							
		BPI	BPE	W	CH	M	C	T	VP
Acrylic special exterior paints	Akrit-F		X						X
	Sokkel		X						X
	AURA Fasad Residens		X						X
	Aquastop Waterproof S	X	X						
	AURA Fasad Fort		X						X
Silicone exterior paints Oil for wood	Forsil		X						X
	Linaoļivārnis	X	X						
	Linaoļi		X						
	Mānītōrv		X						
	Hele Tōrvaōli		X						
	Tume Tōrvaōli		X						
	Sauna Oil	X	X						

Director



Robertas Encius



B3 Niiskuskindel Puiduliim

Niiskuskindel liim puitpindadele

✓ Sobib mööbli liimimiseks



Kirjeldus	
Omadused	<p>Niiskuskindel ühekomponentne vesialuseline puiduliim sise- ja välisöödeks.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Liim on valge, kuivades muutub äbipaistvaks ✓ Kiire esialgne kokkuliimimisvõime ✓ Moodustab elastse niiskuskindla liimivuugi ✓ Sobib hästi mööbli liimimiseks – liimivuuk on tugev ja talub hästi dünaamilist koormust ✓ Kuivanud liim talub hästi nii madalat kui kõrget temperatuuri -30°C kuni +80°C <p>Niiskuskindlus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vastab D3 niiskuskindlusklassile standardi EN 204 järgi
Kasutusala	Kõigist puidust pindade liimimiseks, kuivades ja niisketes ruumides. Sise- ja välisöödeks.
Kasutuskohad	Aknad, uksed, mööbel (köögi-, aia-, vannitoa jm. mööbel), naturaalpuidust klapparkett, laminaat, parkett, jm puitesemed. Ei sobi veega pidevas kontaktis olevate pindade liimimiseks.
Kvaliteedi standardid	<ul style="list-style-type: none"> ✓ EN 204 – termoplastiliste puiduliimide klassifikatsiooni standard. ✓ toodete ja teenuste kvaliteet on tagatud ISO 9001 standardile vastava kvaliteedijuhtimise süsteemiga.
Tehnilised omadused	
Pinna ettevalmistus	Liimitav pind peab olema kuiv, puhastatud tolmust, rasvast, õlist, vahast jm. mustusest ning kooruvatest elementidest. Tugevalt läikivad pinnad lihvida matistumiseni, tolm hoolikalt eemaldada. Töö teostamiseks sobiv materjal-, liimi- ja õhutemperatuur +15...+20°C ja suhteline õhuniiskus 50...70%. Liimitava materjali niiskussisaldus peab jääma vahemikku 7...12%. Liimimine liiga madalal või liiga kõrge temperatuuril halvendab liimi nakkevõimet ja tugevust. Liimides kuuma ilmaga on soovitatav liimiga katta korraga väikesed pinnad et vähendada riski liimi liiga kiireks kuivamiseks ja nakkevõime halvenemiseks.
Liimimine	<p>Enne kasutamist liimi hoolikalt segada. Liim kanda ühtlase kihina ühele liimitavatest pindadest pintsli, rulli, liimilabidaga. Pehmele puiduliimidele puhul kanda paksem liimikiht ja kõvade puiduliimide puhul õhem liimikiht. Liimides imavaid pindu on soovitatav liimi kanda mõlemale liimitavale pinnale. Liimitavad pinnad kokku suruda ja hiljemalt 6 minuti pärast panna surve alla 10 kuni 20 minutiks. Ebatasaseid pindu ja kõvemat puitu hoida surve all kauem, kuni 50 minutit. Üleliigne liim koheselt pinnalt ära pühkida. Liimi lahtioleku aeg ei tohi olla rohkem kui 4-6 minutit. Kuivamise ajal vältida tuuletõmbust ja temperatuuri kõikumist (sobiv temperatuur +15...+20°C, suhteline õhuniiskus 50...70%).</p>

Värvus	Valge, kuivanuna läbipaistev
Kulu	5-7 m²/L ehk 150ml/m²
Lahusti	Vesi
Kuivamisaeg	Vajutusae 10..20 minutit, surve 1...5kg/cm². Kuivamisaeg 24 tundi temperatuuril 20°C ning suhtelisel õhuniiskusel 50%. Pinna edasiseks töötluks peab ootama täieliku kuivamiseni. Kuivamise ajal vältida tuuletõmbust
Töövahendid	Pintsel, rull, liimilabidas
Töövahendite puhastamine	Töövahendid pesta puhtaks vee ja seebiga
Lisainfo	
Külmakindlus	Ei ole külmakindel
Säilivusaeg	2 aastat.
Hoiustamine	Säilitada ja transportida kindlalt suletud originaalpakendis temperatuuril +5 °C kuni +30 °C. Hoida külma ja otsese päikese kiirguse eest.
Ohutusnõuded	Toodet ei ole klassifitseeritud ohtlikuks kooskõlas CLP-määrusega (EÜ) nr 1272/2008. Hoida lastele kättesaamatus kohas. Ennetava meetmena on soovitatav kasutada tavalisi isikukaitsevahendeid, millel on CE-märkis. Ärge sööge ja jooge kasutamise ajal; peske pärast käsi sobiva puhastusvahendiga. Silma sattumisel pesta rohke veega. Kokkupuutel nahaga on soovitatud puhastada kahjustatud ala põhjalikult vee ja neutraalse seebiga. Probleemide korral pöörduge arsti poole.
Jäätmekäitlus ja keskkonnakaitse	Värvitooteid tuleb alati käsitleda ettevaatlikult. Mitte valada kanalisatsiooni. Vältida sattumist keskkonda. Vältida või minimeerida jääkide tekkimist. Tühi, kuiv pakend via taaskasutamiseks pakendijäätmete kogumispunkti (Jäätmekood 15 01), kuiva toote jäägid olmejäätmete konteinerisse. Vedelad jäägid tuleb üle anda selle käitlemiseks keskkonnalauba omavale jäätmekäitlejale (Jäätmekood 08 04 10, liimi- ja hermeetikujäätmed, mida ei ole nimetatud koodinumbriga 08 04 09). Teavet jäätmekäitlejate kohta annab kohalik omavalitsus või Keskkonnaamet. Suuremate koguste puhul võtta ühendust Eesti Taaskasutusorganisatsioon MTÜ, eto@eto.ee
Tihedus	1 kg/L.
Pakendid	0,33 L – 0,75 L – 2,5 L – 10 L

Lisa 2. Katsekehade liimimiste protokoll

KATSEKEHADE LIIMIMISTE PROTOKOLL					
Katsekehade liimimiste andmed				Märkused	
Katsekehade koostajad	Peep Nurme			magistrant	
	Tõnis Teppand			juhendaja	
	Siim Teppand			toetaja	
Asukoht	EMÜ suur labor				
Ruumi temperatuur	15-18 kraadi				
Kasutatud vahendid	Eskaro puiduliim B3				
	Liimikamm 250 mm, tüüp B2/A1				
	Pintsel, laiusega 100 mm				
Kasutatud seadmed	Konecranes 4,99T talakraana			Surveseadme paigaldamiseks.	
	Hüdrauliline press LUKAS			Surve tekitamiseks liimitud lamellidele.	
	ALMEMO 2890-9			Hüdraulilise pressi luger.	
V-seeria katsekehad					
Katsekeha nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Surve(bar)	Märkused	Mõtted
V 03 KK1-1	24.02.2017	17:20	21,5	Lattide surve alla panek.	Lamellide ebatäpsus on võrdlemisi suur ja välimised lamellid ei lähe omavahel kokku. Kindlasti peaks edaspidi liimi rohkem panema ning tulevikus uute lamellide saagimisel mõelda selle peale, et sisemised lamellid juba teadlikult natuke väiksemad teha ja välimised pisut suuremad, see tagab kogu katsekeha toimivuse paremini.
V 03 KK1-1	24.02.2017	17:29	20,4	Vahekontroll.	
V 03 KK1-1	25.02.2017	12:15	18,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK1-2	25.02.2017	14:33	22,2	Lamellide surve alla panek.	
V 03 KK1-2	25.02.2017	14:48	18,7	Vahenäit 1.	
V 03 KK1-2	25.02.2017	15:03	18,3	Vahenäit 2.	
V 03 KK1-2	25.02.2017	15:18	18,3	Vahenäit 3.	
V 03 KK1-2	25.02.2017	15:33	18,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK2-1	25.02.2017	16:00	30,0	Lamellide surve alla panek.	Haava lamellid natuke liiga õhukesed! Katsetame ka kõrgemat survet. Välimine IV kiht 10,00 mm; III kiht 9,80 mm; II kiht 9,60 mm; I kiht 19,80 mm.
V 03 KK2-1	25.02.2017	16:15	26,6	Vahenäit 1.	
V 03 KK2-1	25.02.2017	16:30	24,5	Vahenäit 2.	

V 03 KK2-1	25.02.2017	16:45	22,6	Vahenäit 3.	
V 03 KK2-1	25.02.2017	17:00	21,5	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK2-2	25.02.2017	17:35	200,0	Lamellide surve alla panek.	Välimine IV kiht 10,15 mm; III kiht 9,80 mm; II kiht 9,80 mm; I kiht 19,80 mm. Katsetame kõrgemat survet, et saavutada 0,5-1 N/mm ² .
V 03 KK2-2	25.02.2017	17:50	187,6	Vahenäit 1.	
V 03 KK2-2	25.02.2017	18:05	185,6	Vahenäit 2.	
V 03 KK2-2	25.02.2017	18:20	185,0	Vahenäit 3.	
V 03 KK2-2	25.02.2017	18:35	185,1	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK3-1	25.02.2017	19:10	202,1	Lamellide surve alla panek.	Välimine IV kiht 10,15 mm; III kiht 9,80 mm; II kiht 9,80 mm; I kiht 19,80 mm.
V 03 KK3-1	25.02.2017	19:25	189,3	Vahenäit 1.	
V 03 KK3-1	25.02.2017	19:40	187,3	Vahenäit 2.	
V 03 KK3-1	25.02.2017	19:55	186,3	Vahenäit 3.	
V 03 KK3-1	25.02.2017	20:10	186,3	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK3-2	25.02.2017	20:30	202,1	Lamellide surve alla panek.	Välimine IV kiht 10,15 mm; III kiht 9,80 mm; II kiht 9,80 mm; I kiht 19,80 mm.
V 03 KK3-2	25.02.2017	20:45	191,6	Vahenäit 1.	
V 03 KK3-2	26.02.2017	9:25	181,6	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK5-1	28.02.2017	12:30	203,5	Lamellide surve alla panek.	Välimine IV kiht 10,15 mm; III kiht 9,95 mm; II kiht 9,95 mm; I kiht 19,95 mm.
V 03 KK5-1	28.02.2017	12:45	189,7	Vahenäit 1.	
V 03 KK5-1	28.02.2017	13:00	187,1	Vahenäit 2.	
V 03 KK5-1	28.02.2017	13:15	185,2	Vahenäit 3.	
V 03 KK5-1	28.02.2017	13:30	185,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
V 03 KK5-2	28.02.2017	14:15	202,5	Lamellide surve alla panek.	Välimine IV kiht 10,15 mm; III kiht 9,95 mm; II kiht 9,95 mm; I kiht 19,95 mm. Hetkel üks parimaid lamellide paigutusi.
V 03 KK5-2	28.02.2017	14:30	189,9	Vahenäit 1.	
V 03 KK5-2	28.02.2017	14:45	188,6	Vahenäit 2.	
V 03 KK5-2	28.02.2017	15:00	187,9	Vahenäit 3.	

V 03 KK5-2	28.02.2017	15:15	187,5	Lamellide surve alt vabastamine.	
Uued ja täiustatud S-seeria katsekehad (16.03.17)					
S 01 KK1-1	16.03.2017	20:45	206,4	Lamellide surve alla panek.	Esimene lamellide nihutamise katse, pisut ebaõnnestunud. Kõik lamellid ühe paksused (ca 10 mm) keskmine lamell 20x20 mm.
S 01 KK1-1	16.03.2017	21:00	192,4	Vahenäit 1.	
S 01 KK1-1	17.03.2017	8:30	173,2	Lamellide surve alt vabastamine.	Lamellid valesti nihkunud. Tekitame puidust matriitsi.
S 01 KK4-1	17.03.2017	12:40	205,7	Lamellide surve alla panek.	Katsetame uut matriitsi otsa. Esmapilgul töötab.
S 01 KK4-1	17.03.2017	12:55	192,2	Vahenäit 1.	Kasutame väiksemate piidega liimikammi A1 (laius 250 mm).
S 01 KK4-1	17.03.2017	13:10	188,4	Vahenäit 2.	
S 01 KK4-1	17.03.2017	13:25	187,4	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK1-2	17.03.2017	13:45	205,4	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK1-2	17.03.2017	14:00	193,9	Vahenäit 1.	
S 01 KK1-2	17.03.2017	14:15	190,7	Vahenäit 2.	
S 01 KK1-2	17.03.2017	14:30	189,8	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK1-3	17.03.2017	14:45	206,4	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK1-3	17.03.2017	15:00	196,3	Vahenäit 1.	
S 01 KK1-3	17.03.2017	15:15	193,9	Vahenäit 2.	
S 01 KK1-3	17.03.2017	15:30	193,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK1-4	17.03.2017	15:45	205,5	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK1-4	17.03.2017	16:00	193,4	Vahenäit 1.	
S 01 KK1-4	17.03.2017	16:15	191,8	Vahenäit 2.	
S 01 KK1-4	17.03.2017	16:30	191,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK1-5	17.03.2017	16:45	202,5	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK1-5	17.03.2017	17:00	191,8	Vahenäit 1.	
S 01 KK1-5	17.03.2017	17:15	188,5	Vahenäit 2.	

S 01 KK1-5	17.03.2017	17:30	186,3	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK2-1	17.03.2017	17:45	207,2	Lamellide surve alla panek.	Üks haava lamell kohe lõppasendis.
S 01 KK2-1	17.03.2017	18:00	194,2	Vahenäit 1.	
S 01 KK2-1	17.03.2017	18:15	192,1	Vahenäit 2.	
S 01 KK2-1	17.03.2017	18:30	191,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK2-2	17.03.2017	18:45	207,4	Lamellide surve alla panek.	Kõik kihid liikusid sentimeeter edasi liiga vähese ajutise surve tõttu. Jääb ööseks pressi alla.
S 01 KK2-2	17.03.2017	19:00	195,5	Vahenäit 1.	
S 01 KK2-2	18.03.2017	9:25	182,9	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK2-3	18.03.2017	9:50	206,5	Lamellide surve alla panek.	Üksi liimitud.
S 01 KK2-3	18.03.2017	10:05	192,7	Vahenäit 1.	
S 01 KK2-3	18.03.2017	10:20	189,9	Vahenäit 2.	
S 01 KK2-3	18.03.2017	10:35	189,3	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK2-4	18.03.2017	10:50	206,2	Lamellide surve alla panek.	Üksi liimitud.
S 01 KK2-4	18.03.2017	11:05	193,7	Vahenäit 1.	
S 01 KK2-4	18.03.2017	11:20	191,6	Vahenäit 2.	
S 01 KK2-4	18.03.2017	11:35	191,0	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK2-5	18.03.2017	11:55	205,2	Lamellide surve alla panek.	Üksi liimitud.
S 01 KK2-5	18.03.2017	12:10	193,8	Vahenäit 1.	
S 01 KK2-5	18.03.2017	12:25	191,5	Vahenäit 2.	
S 01 KK2-5	18.03.2017	12:40	190,1	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK3-1	18.03.2017	12:55	207,1	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK3-1	18.03.2017	13:10	193,5	Vahenäit 1.	
S 01 KK3-1	18.03.2017	13:25	192,0	Vahenäit 2.	
S 01 KK3-1	18.03.2017	13:40	191,3	Lamellide surve alt vabastamine.	

S 01 KK3-2	18.03.2017	13:55	209,2	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK3-2	18.03.2017	14:10	197,1	Vahenäit 1.	
S 01 KK3-2	18.03.2017	14:25	195,1	Vahenäit 2.	
S 01 KK3-2	18.03.2017	14:40	194,2	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK3-3	18.03.2017	14:55	206,7	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK3-3	18.03.2017	15:10	194,3	Vahenäit 1.	
S 01 KK3-3	18.03.2017	15:25	191,8	Vahenäit 2.	
S 01 KK3-3	18.03.2017	15:40	190,4	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK3-4	18.03.2017	15:55	207,5	Lamellide surve alla panek.	Vahepealse surveklambri asetamine katsekeha keskele, et ots jätta vabaks ja keskelt lamellid fikseerida.
S 01 KK3-4	18.03.2017	16:10	195,2	Vahenäit 1.	
S 01 KK3-4	18.03.2017	16:25	193,5	Vahenäit 2.	
S 01 KK3-4	18.03.2017	16:40	192,6	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK4-2	18.03.2017	16:55	211,1	Lamellide surve alla panek.	
S 01 KK4-2	18.03.2017	17:10	197,6	Vahenäit 1.	
S 01 KK4-2	18.03.2017	17:25	195,2	Vahenäit 2.	
S 01 KK4-2	18.03.2017	17:40	194,5	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK4-3	18.03.2017	17:55	206,2	Lamellide surve alla panek.	Kaks inimest pintseldasid liimi.
S 01 KK4-3	18.03.2017	18:10	193,6	Vahenäit 1.	Surusime otsad pitskruvidega ka kinni.
S 01 KK4-3	18.03.2017	18:25	190,2	Vahenäit 2.	
S 01 KK4-3	18.03.2017	19:05	183,7	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK3-5	19.03.2017	10:05	211,2	Lamellide surve alla panek.	Üksi liimitud.
S 01 KK3-5	19.03.2017	10:20	199,7	Vahenäit 1.	Surusime otsad pitskruvidega ka kinni.
S 01 KK3-5	19.03.2017	10:35	192,3	Vahenäit 2.	Alustasime kasti ehitust.
S 01 KK3-5	19.03.2017	10:50	192,8	Lamellide surve alt vabastamine.	

S 01 KK4-4	19.03.2017	11:05	209,2	Lamellide surve alla panek.	Kaks inimest pintseldasid liimi.
S 01 KK4-4	19.03.2017	11:20	194,4	Vahenäit 1.	Surusime otsad pitskruvidega ka kinni.
S 01 KK4-4	19.03.2017	11:35	192,6	Vahenäit 2.	Lõpetasime kasti ehituse.
S 01 KK4-4	19.03.2017	11:50	191,9	Lamellide surve alt vabastamine.	
S 01 KK4-5	19.03.2017	12:05	206,5	Lamellide surve alla panek.	Kaks inimest pintseldasid liimi.
S 01 KK4-5	19.03.2017	12:20	194,1	Vahenäit 1.	Surusime otsad pitskruvidega ka kinni.
S 01 KK4-5	19.03.2017	12:35	192,4	Vahenäit 2.	Kaks erinevat liimi 70 % B3 ja 30% teist liimi.
S 01 KK4-5	19.03.2017	14:00	191,6	Lamellide surve alt vabastamine.	

Lisa 3. V-seeria paindekatsete protokoll

80x80 mm massiivpuit ristlõikega diagonaalselt koormatud														
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus		Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused	
				Kiht 1	Niiskus (%)									
V 02 KK1-1	26.02.2017	18:35	KK ots	Kuusk	16,0	4,23	80 x 80	1500	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	19,388	39,02	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T	
			KK keskelt	Kuusk	16,1								Osaline purunemine ja koormuse langus ja nii mitu korda.	
			KK ots	Kuusk	12,9									
			KK keskmine	Kuusk	15,0									
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus		Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused	
				Kiht 1	Niiskus (%)									
V 02 KK1-2	26.02.2017	18:42	KK ots	Kuusk	16,2	4,31	80 x 80	1500	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	15,106	27,58	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T	
			KK keskelt	Kuusk	16,1								Osaline purunemine ja koormuse langus ja nii mitu korda.	
			KK ots	Kuusk	15,4									
			KK keskmine	Kuusk	15,9									
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus		Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused	
				Kiht 1	Niiskus (%)									
V 02 KK1-3	26.02.2017	18:54	KK ots	Kuusk	14,1	4,1	80 x 80	1500	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	10,958	13,78	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T	
			KK keskelt	Kuusk	13									
			KK ots	Kuusk	10,8									
			KK keskmine	Kuusk	12,6									
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus		Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused	
				Kiht 1	Niiskus (%)									
V 02 KK1-4	26.02.2017	19:08	KK ots	Kuusk	13,3	4,54	80 x 80	1500	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	8,612	11,82	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T	
			KK keskelt	Kuusk	15,3									
			KK ots	Kuusk	13,9									
			KK keskmine	Kuusk	14,2									

80x80 mm kombineeritud ristlõikega diagonaalselt koormatud																			
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)								
V 03 KK1-1	26.02.2017	12:01	Lamell 1	Tamm	10,5	Haab	11,2	Kask	10,3	Tamm	10,2	5,59	80,70 x 80,70	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	28,187	8,13	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	10,7	Kask	10,7	Tamm	10,7								Katsekeha saavutas peale purunemist peaaegu algse kuju.
			Lamell 3			Haab	10,9	Kask	10,1	Tamm	10,6								
			Lamell 4			Haab	11,1	Kask	10,6	Tamm	10,3								
			KK keskmine	Tamm	10,5	Haab	11,0	Kask	10,4	Tamm	10,5								
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)								

V 03 KK1-2	26.02.2017	19:28	Lamell 1	Tamm	11,5	Haab	11,8	Kask	10,4	Tamm	10,8	5,57	80,75 x 80,75	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	20,292	13,86	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	11,9	Kask	10,4	Tamm	10,7								
			Lamell 3			Haab	12,5	Kask	10,4	Tamm	10,4								
			Lamell 4			Haab	12,3	Kask	10,5	Tamm	12								
			KK keskmine	Tamm	11,5	Haab	12,1	Kask	10,4	Tamm	11,0								

80x80 mm kombineeritud ristlõikega diagonaalselt koormatud																			
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)								
V 03 KK2-1	27.02.2017	10:48	Lamell 1	Tamm	10,5	M. Lepp	10,1	Tamm	11,1	Saar	10,3	6,19	80,25 x 80,25	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	33,732	4,31	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			M. Lepp	10,2	Tamm	10,4	Saar	10,4								
			Lamell 3			M. Lepp	10,0	Tamm	11,5	Saar	10,2								
			Lamell 4			M. Lepp	10,1	Tamm	11,9	Saar	10,6								
			KK keskmine	Tamm	10,5	M. Lepp	10,1	Tamm	11,2	Saar	10,4								
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
V 03 KK2-2	27.02.2017	11:03	Lamell 1	Tamm	10,5	M. Lepp	9,8	Tamm	10,7	Saar	9,9	6,12	80,25 x 80,25	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	35,323	3,74	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			M. Lepp	9,9	Tamm	10,3	Saar	9,9								
			Lamell 3			M. Lepp	9,8	Tamm	10,7	Saar	10								
			Lamell 4			M. Lepp	9,9	Tamm	10,9	Saar	10,8								
			KK keskmine	Tamm	10,5	M. Lepp	9,9	Tamm	10,7	Saar	10,2								

80x80 mm kombineeritud ristlõikega diagonaalselt koormatud																			
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)								
V 03 KK3-1	27.02.2017	11:31	Lamell 1	Saar	10,7	Haab	10,2	Kask	10,2	Saar	10,4	5,91	80,40 x 80,40	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	34,608	2,03	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	10,4	Kask	10,3	Saar	10,3								
			Lamell 3			Haab	10,7	Kask	10,4	Saar	10,4								
			Lamell 4			Haab	10,4	Kask	10,5	Saar	10,5								
			KK keskmine	Saar	10,7	Haab	10,4	Kask	10,4	Saar	10,4								
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
V 03 KK3-2	27.02.2017	11:42	Lamell 1	Saar	10,6	Haab	10,8	Kask	10,3	Saar	10,4	6,09	80,25 x 80,25	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	38,180	7,41	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	10,7	Kask	10,6	Saar	10,5								
			Lamell 3			Haab	10,9	Kask	10,5	Saar	10,7								
			Lamell 4			Haab	10,7	Kask	10,3	Saar	12,2								
			KK keskmine	Saar	10,6	Haab	10,8	Kask	10,4	Saar	11,0								

80x80 mm kombineeritud ristlõikega diagonaalselt koormatud																			
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)								
V 03 KK5-1	28.03.2017	17:56	Lamell 1	Kask	8,5	Haab	9,3	M.lepp	7,4	Kask	7,5	5,08	80 x 80	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	25,655	4,72	Katseseade MTS DY36, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	9,4	M.lepp	8,1	Kask	6,7								
			Lamell 3			Haab	9,4	M.lepp	7,7	Kask	8,2								
			Lamell 4			Haab	9,3	M.lepp	8,5	Kask	6,7								
			KK keskmine	Kask	8,5	Haab	9,4	M.lepp	7,9	Kask	7,3								
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Sille (mm)	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)								
V 03 KK5-2	28.03.2017	18:20	Lamell 1	Kask	9,0	Haab	10,2	M.lepp	8,9	Kask	7,3	5,05	80 x 80	1400	Nelja punkti katse	1230 (410 + 410 + 410)	20,421	1,94	Katseseade MTS DY36, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	10,2	M.lepp	9,8	Kask	8,2								
			Lamell 3			Haab	9,0	M.lepp	6,2	Kask	6,8								
			Lamell 4			Haab	10,1	M.lepp	8,5	Kask	8,3								
			KK keskmine	Kask	9,0	Haab	9,9	M.lepp	8,4	Kask	7,7								

Lisa 4. S-seeria paindekatsete protokoll

80x80 mm combined section diagonally loaded																			
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK1-2	29.03.2017	9:00	Lamella 1	Oak	11,3	Aspen	10,0	Ash	9,1	Oak	10,2	6,11	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	36,699	4,89	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	9,5	Ash	10,3	Oak	9,8								
			Lamella 3			Aspen	9,4	Ash	7,5	Oak	10,2								
			Lamella 4			Aspen	9,8	Ash	7,7	Oak	9,6								
			SP average	Oak	11,3	Aspen	9,7	Ash	8,7	Oak	10,0								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
S 01 KK1-3	29.03.2017	9:20	Lamella 1	Oak	11,4	Aspen	11,3	Ash	7,7	Oak	10,0	6,05	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	32,012	2,43	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,1	Ash	10,4	Oak	10,8								
			Lamella 3			Aspen	10,7	Ash	11,0	Oak	12,3								
			Lamella 4			Aspen	12,0	Ash	9,8	Oak	11,2								
			SP average	Oak	11,4	Aspen	11,0	Ash	9,7	Oak	11,1								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
S 01 KK1-5	29.03.2017	9:44	Lamella 1	Oak	9,9	Aspen	11,7	Ash	10,1	Oak	10,6	5,87	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	31,489	1,49	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,9	Ash	9,6	Oak	11,0								
			Lamella 3			Aspen	11,2	Ash	9,0	Oak	10,0								
			Lamella 4			Aspen	11,7	Ash	11,0	Oak	10,7								
			SP average	Oak	9,9	Aspen	11,6	Ash	9,9	Oak	10,6								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
S 01 KK1-4	29.03.2017	10:00	Lamella 1	Oak	8,8	Aspen	11,6	Ash	8,0	Oak	10,9	6,04	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	29,227	3,48	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,0	Ash	10,2	Oak	10,6								
			Lamella 3			Aspen	10,3	Ash	10,0	Oak	12,3								
			Lamella 4			Aspen	11,2	Ash	9,1	Oak	11,4								
			SP average	Oak	8,8	Aspen	10,8	Ash	9,3	Oak	11,3								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
S 01 KK2-1	29.03.2017	10:15	Lamella 1	Ash	10,2	Aspen	10,8	Birch	8,1	Ash	11,8	6,03	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	42,099	5,11	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,2	Birch	8,4	Ash	7,7								
			Lamella 3			Aspen	11,5	Birch	8,6	Ash	7,8								
			Lamella 4			Aspen	11,2	Birch	8,7	Ash	9,7								
			SP average	Ash	10,2	Aspen	11,2	Birch	8,5	Ash	9,3								

SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-2	29.03.2017	10:36	Lamella 1	Ash	10,8	Aspen	11,8	Birch	7,3	Ash	11,5	6,18	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	45,356	6,01	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,8	Birch	9,9	Ash	12,8								
			Lamella 3			Aspen	11,7	Birch	9,6	Ash	11,2								
			Lamella 4			Aspen	12,5	Birch	9,7	Ash	10,6								
			SP average	Ash	10,8	Aspen	12,0	Birch	9,1	Ash	11,5								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-3	29.03.2017	10:55	Lamella 1	Ash	10,5	Aspen	11,9	Birch	9,8	Ash	11,7	6,31	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	46,017	5,45	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	12,2	Birch	9,4	Ash	10,4								
			Lamella 3			Aspen	10,7	Birch	8,5	Ash	9,9								
			Lamella 4			Aspen	10,6	Birch	9,6	Ash	9,6								
			SP average	Ash	10,5	Aspen	11,4	Birch	9,3	Ash	10,4								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-4	29.03.2017	11:12	Lamella 1	Ash	11,1	Aspen	11,5	Birch	9,0	Ash	7,8	6,30	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	38,798	4,16	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,9	Birch	8,4	Ash	10,3								
			Lamella 3			Aspen	12,4	Birch	10,2	Ash	9,2								
			Lamella 4			Aspen	12,8	Birch	9,1	Ash	8,2								
			SP average	Ash	11,1	Aspen	12,2	Birch	9,2	Ash	8,9								

SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-1	29.03.2017	12:12	Lamella 1	Ash	9,2	Alder	7,9	Birch	8,1	Ash	11,0	6,25	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	37,368	2,65	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	7,9	Birch	8,3	Ash	9,7								
			Lamella 3			Alder	6,7	Birch	8,1	Ash	7,4								
			Lamella 4			Alder	9,6	Birch	8,0	Ash	8,3								
			SP average	Ash	9,2	Alder	8,0	Birch	8,1	Ash	9,1								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-2	29.03.2017	12:27	Lamella 1	Ash	10,8	Alder	8,0	Birch	10,8	Ash	9,0	6,15	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	41,770	12,41	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	9,4	Birch	10,2	Ash	9,0								
			Lamella 3			Alder	9,2	Birch	10,2	Ash	8,8								
			Lamella 4			Alder	8,8	Birch	10,7	Ash	10,5								
			SP average	Ash	10,8	Alder	8,9	Birch	10,5	Ash	9,3								

SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-4	29.03.2017	13:10	Lamella 1	Ash	9,9	Alder	8,7	Birch	11,6	Ash	11,3	6,00	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	37,378	6,05	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	8,3	Birch	11,6	Ash	9,2								Test stoped for some reason the first time, we restarted the program and the machine.
			Lamella 3			Alder	7,6	Birch	9,8	Ash	8,4								
			Lamella 4			Alder	7,5	Birch	11,3	Ash	8,4								
			SP average	Ash	9,9	Alder	8,0	Birch	11,1	Ash	9,3								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-5	29.03.2017	13:28	Lamella 1	Ash	11,4	Alder	11,4	Birch	9,5	Ash	10,2	6,29	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	35,680	2,94	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	10,2	Birch	9,2	Ash	8,2								
			Lamella 3			Alder	8,5	Birch	8,3	Ash	8,0								
			Lamella 4			Alder	9,1	Birch	8,8	Ash	10,8								
			SP average	Ash	11,4	Alder	9,8	Birch	9,0	Ash	9,3								

SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-1	29.03.2017	13:43	Lamella 1	Birch	7,7	Aspen	11,3	Spruce	12,0	Birch	7,9	5,09	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	27,777	3,00	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,2	Spruce	12,9	Birch	7,7								
			Lamella 3			Aspen	9,8	Spruce	10,2	Birch	8,1								
			Lamella 4			Aspen	9,4	Spruce	11,0	Birch	8,5								
			SP average	Birch	7,7	Aspen	10,2	Spruce	11,5	Birch	8,1								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-2	29.03.2017	13:57	Lamella 1	Birch	7,6	Aspen	11,5	Spruce	9,3	Birch	9,6	5,07	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	28,426	3,91	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	9,8	Spruce	14,2	Birch	9,1								
			Lamella 3			Aspen	11,4	Spruce	13,6	Birch	7,9								
			Lamella 4			Aspen	11,6	Spruce	13,2	Birch	10,6								
			SP average	Birch	7,6	Aspen	11,1	Spruce	12,6	Birch	9,3								
SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-4	29.03.2017	14:11	Lamella 1	Birch	8,3	Aspen	11,1	Spruce	12,0	Birch	8,0	5,34	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	31,641	3,80	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,5	Spruce	12,4	Birch	8,2								
			Lamella 3			Aspen	11,7	Spruce	13,0	Birch	8,6								
			Lamella 4			Aspen	12,6	Spruce	14,3	Birch	9,4								
			SP average	Birch	8,3	Aspen	11,7	Spruce	12,9	Birch	8,6								

SP Name	Date	Time	Moist. meas. point	Specimen moisture content								Weight (kg)	Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-5	29.03.2017	14:24	Lamella 1	Birch	7,8	Aspen	11,1	Spruce	12,5	Birch	7,7	5,31	80 x 80	1400 shifted	Four point flexure bending test.	1080 (360 + 360 + 360) mm	28,322	3,67	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,5	Spruce	12,0	Birch	8,7								
			Lamella 3			Aspen	11,7	Spruce	13,2	Birch	8,6								
			Lamella 4			Aspen	11,7	Spruce	11,8	Birch	7,9								
			SP average	Birch	7,8	Aspen	11,3	Spruce	12,4	Birch	8,2								

Lisa 5. Survekatsete protokoll

80x80 mm massiivpuit ristlõikega puidukiu sihis koormatud												
KK nimetus	Kuupäev	Kellaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus		Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)							
V 02 KK1-1	19.04.2017	14:15	KK ots	Kuusk	10,3	1,19	80 x 80	480	Survekatse	159,578	2,82	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			KK keskelt	Kuusk	11,9							
			KK ots	Kuusk	9,8							KERN EW4200-2NM
			KK keskmine	Kuusk	10,7							
KK nimetus	Kuupäev	Kellaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus		Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)							
V 02 KK1-2	19.04.2017	14:22	KK ots	Kuusk	9,9	1,26	80 x 80	480	Survekatse	145,157	2,41	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			KK keskelt	Kuusk	9,9							
			KK ots	Kuusk	10,1							
			KK keskmine	Kuusk	10,0							

80x80 mm kombineeritud ristlõikega puidukiu sihis koormatud																		
KK nimetus	Kuupäev	Kellaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK1-11	19.04.2017	14:34	Lamell 1	Tamm	9,9	Haab	9,7	Saar	10,1	Tamm	9,9	2,04	79,63 x 79,78	480	Survekatse	328,303	9,61	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	9,7	Saar	9,9	Tamm	9,8							
			Lamell 3			Haab	9,8	Saar	10	Tamm	9,9							
			Lamell 4			Haab	9,8	Saar	9,8	Tamm	9,8							
			KK keskmine	Tamm	9,9	Haab	9,8	Saar	10,0	Tamm	9,9							
KK nimetus	Kuupäev	Kellaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK1-12	19.04.2017	14:48	Lamell 1	Tamm	9,9	Haab	9,7	Saar	9,9	Tamm	10,1	2,06	79,61 x 79,81	480	Survekatse	330,887	5,12	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	9,9	Saar	9,8	Tamm	10,2							
			Lamell 3			Haab	9,9	Saar	10,1	Tamm	9,9							
			Lamell 4			Haab	9,8	Saar	9,9	Tamm	9,9							
			KK keskmine	Tamm	9,9	Haab	9,8	Saar	9,9	Tamm	10,0							

80x80 mm kombineeritud ristlõikega puidukiu sihis koormatud																		
KK nimetus	Kuupäev	Kellaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK2-51	19.04.2017	14:59	Lamell 1	Saar	10,1	Haab	9,9	Kask	10,1	Saar	9,8	2,16	79,68 x 80,07	480	Survekatse	377,335	3,32	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	10,1	Kask	9,9	Saar	9,8							

			Lamell 3			Haab	9,8	Kask	9,8	Saar	10,1							
			Lamell 4			Haab	9,9	Kask	9,8	Saar	9,9							
			KK keskmine	Saar	10,1	Haab	9,9	Kask	9,9	Saar	9,9							
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK2-52	19.04.2017	15:12	Lamell 1	Saar	10,1	Haab	9,8	Kask	9,8	Saar	9,9	2,14	80,12 x 80,04	480	Survekatse	379,498	3,11	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	10,1	Kask	10	Saar	9,9							
			Lamell 3			Haab	9,9	Kask	9,8	Saar	10,1							
			Lamell 4			Haab	9,8	Kask	9,9	Saar	10							
			KK keskmine	Saar	10,1	Haab	9,9	Kask	9,9	Saar	10,0							

80x80 mmkombineeritud ristlõikega puidukiu sihis koormatud																		
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK3-31	19.04.2017	15:28	Lamell 1	Saar	10,1	M.lepp	9,9	Kask	10,1	Saar	9,8	2,15	79,84 x 79,77	480	Survekatse	401,79	1,22	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			M.lepp	9,8	Kask	9,9	Saar	9,9							
			Lamell 3			M.lepp	9,8	Kask	9,9	Saar	9,9							
			Lamell 4			M.lepp	9,9	Kask	10,1	Saar	9,8							
			KK keskmine	Saar	10,1	M.lepp	9,9	Kask	10,0	Saar	9,9							
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK3-32	19.04.2017	15:42	Lamell 1	Saar	10	M.lepp	9,9	Kask	9,9	Saar	9,9	2,13	79,96 x 79,81	480	Survekatse	404,855	2,91	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			M.lepp	10,1	Kask	9,9	Saar	9,8							
			Lamell 3			M.lepp	9,9	Kask	10,1	Saar	10							
			Lamell 4			M.lepp	9,9	Kask	9,8	Saar	10							
			KK keskmine	Saar	10,0	M.lepp	10,0	Kask	9,9	Saar	9,9							

80x80 mm kombineeritud ristlõikega puidukiu sihis koormatud																		
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK4-31	19.04.2017	15:58	Lamell 1	Kask	10	Haab	9,9	Kuusk	10,0	Kask	9,9	1,76	79,63 x 79,65	480	Survekatse	305,710	1,13	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	9,9	Kuusk	9,9	Kask	9,8							
			Lamell 3			Haab	9,8	Kuusk	10	Kask	9,8							
			Lamell 4			Haab	10	Kuusk	9,9	Kask	9,9							
			KK keskmine	Kask	10,0	Haab	9,9	Kuusk	10,0	Kask	9,9							

KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskuse mõõtekohad	Katsekehade niiskussisaldus								Kaal (kg)	Väline ristlõige (mm x mm)	Pikkus (mm)	Katse tüüp	Purustav F (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
				Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 2	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)							
S 01 KK4-32	19.04.2017	16:12	Lamell 1	Kask	10,1	Haab	9,9	Kuusk	10,1	Kask	9,9	1,78	79,55 x 79,66	480	Surve- katse	317,908	2,21	Universaalne katsemasin P-125, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T
			Lamell 2			Haab	9,8	Kuusk	9,9	Kask	10,1							
			Lamell 3			Haab	10,0	Kuusk	9,9	Kask	9,8							
			Lamell 4			Haab	9,9	Kuusk	10	Kask	9,9							
			KK keskmine	Kask	10,1	Haab	9,9	Kuusk	10,0	Kask	9,9							

Lisa 6. Märketapi katsete protokoll

80x80 mm massiivpuit ristlõikega vertikaalselt koormatud											
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskussisaldus horisontaal		Niiskussisaldus vertikaal		Väline ristlõige (mm x mm)	Katse tüüp	Purustav koormus (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
			Kiht 1	Niiskus (%)	Kiht 1	Niiskus (%)					
V 02 KK1-2	21.03.2017	16:37	Kuusk	13,3	Kuusk	14,0	80 x 80	Märketapi nihkekatse	7,102	6,83	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T. Tapi sügavus 5 + 5 mm.

80x80 mm kombineeritud ristlõikega vertikaalselt koormatud															
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskussisaldus horisontaal				Niiskussisaldus vertikaal				Väline ristlõige (mm x mm)	Katse tüüp	Purustav koormus (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
			Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)					
V 03 KK1-2	21.03.2017	15:50	Kask	10,7	Tamm	12,7	Kask	14,4	Tamm	14,7	80,75 x 80,75	Märketapi nihkekatse	11,971	7,09	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T. Tapi sügavus 5 + 5 mm.

80x80 mm kombineeritud ristlõikega vertikaalselt koormatud															
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskussisaldus horisontaal				Niiskussisaldus vertikaal				Väline ristlõige (mm x mm)	Katse tüüp	Purustav koormus (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
			Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)					
V 03 KK2-1	21.03.2017	16:05	Tamm	11,8	Saar	10,7	Tamm	12,8	Saar	12,9	80,25 x 80,25	Märketapi nihkekatse	19,935	7,15	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T. Tapi sügavus 5 + 5 mm.
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskussisaldus horisontaal				Niiskussisaldus vertikaal				Väline ristlõige (mm x mm)	Katse tüüp	Purustav koormus (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
			Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)					
V 03 KK2-2	21.03.2017	16:20	Tamm	12,7	Saar	11,3	Tamm	13,6	Saar	12,6	80,25 x 80,25	Märketapi nihkekatse	21,770	7,14	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T. Tapi sügavus 5 + 5 mm.

80x80 mm kombineeritud ristlõikega vertikaalselt koormatud															
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskussisaldus horisontaal				Niiskussisaldus vertikaal				Väline ristlõige (mm x mm)	Katse tüüp	Purustav koormus (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
			Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)					
V 03 KK3-1	21.03.2017	14:13	Kask	10,3	Saar	10,5	Kask	10,8	Saar	11,0	80,40 x 80,40	Märketapi nihkekatse	16,750	13,30	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T. Tapi sügavus 5 + 5 mm.
KK nimetus	Kuupäev	Kellaaeg	Niiskussisaldus horisontaal				Niiskussisaldus vertikaal				Väline ristlõige (mm x mm)	Katse tüüp	Purustav koormus (kN)	Jäävdef. (mm)	Märkused
			Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)	Kiht 3	Niiskus (%)	Kiht 4	Niiskus (%)					
V 03 KK3-2	21.03.2017	15:31	Kask	11,5	Saar	11,6	Kask	10,7	Saar	10,9	80,25 x 80,25	Märketapi nihkekatse	18,763	5,83	Katseseade INSTRON 3369, niiskusemõõtja GANN Hydromette HT 85 T. Tapi sügavus 5 + 5 mm.

Lisa 7. Lattide omavahelise ühenduse katsete protokoll

80x80 mm combined section diagonally loaded																			
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK1-2	31.03.2017	15:25	Lamella 1	Oak	11,3	Aspen	10,0	Ash	9,1	Oak	10,2	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	10,153	4,23	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	9,5	Ash	10,3	Oak	9,8								
			Lamella 3			Aspen	9,4	Ash	7,5	Oak	10,2								
			Lamella 4			Aspen	9,8	Ash	7,7	Oak	9,6								
			SP average	Oak	11,3	Aspen	9,7	Ash	8,7	Oak	10,0								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK1-3	31.03.2017	15:34	Lamella 1	Oak	11,4	Aspen	11,3	Ash	7,7	Oak	10,0	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	7,203	2,69	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,1	Ash	10,4	Oak	10,8								
			Lamella 3			Aspen	10,7	Ash	11,0	Oak	12,3								
			Lamella 4			Aspen	12,0	Ash	9,8	Oak	11,2								
			SP average	Oak	11,4	Aspen	11,0	Ash	9,7	Oak	11,1								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK1-4	31.03.2017	15:46	Lamella 1	Oak	9,9	Aspen	11,7	Ash	10,1	Oak	10,6	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	9,523	5,96	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,9	Ash	9,6	Oak	11,0								
			Lamella 3			Aspen	11,2	Ash	9,0	Oak	10,0								
			Lamella 4			Aspen	11,7	Ash	11,0	Oak	10,7								
			SP average	Oak	9,9	Aspen	11,6	Ash	9,9	Oak	10,6								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK1-5	31.03.2017	15:55	Lamella 1	Oak	8,8	Aspen	11,6	Ash	8,0	Oak	10,9	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	5,844	3,28	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,0	Ash	10,2	Oak	10,6								
			Lamella 3			Aspen	10,3	Ash	10,0	Oak	12,3								
			Lamella 4			Aspen	11,2	Ash	9,1	Oak	11,4								
			SP average	Oak	8,8	Aspen	10,8	Ash	9,3	Oak	11,3								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-1	31.03.2017	16:00	Lamella 1	Ash	10,2	Aspen	10,8	Birch	8,1	Ash	11,8	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	11,091	6,19	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,2	Birch	8,4	Ash	7,7								
			Lamella 3			Aspen	11,5	Birch	8,6	Ash	7,8								
			Lamella 4			Aspen	11,2	Birch	8,7	Ash	9,7								
			SP average	Ash	10,2	Aspen	11,2	Birch	8,5	Ash	9,3								

SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-2	31.03.2017	16:12	Lamella 1	Ash	10,8	Aspen	11,8	Birch	7,3	Ash	11,5	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	15,203	7,91	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,8	Birch	9,9	Ash	12,8								
			Lamella 3			Aspen	11,7	Birch	9,6	Ash	11,2								
			Lamella 4			Aspen	12,5	Birch	9,7	Ash	10,6								
			SP average	Ash	10,8	Aspen	12,0	Birch	9,1	Ash	11,5								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-3	31.03.2017	16:23	Lamella 1	Ash	10,5	Aspen	11,9	Birch	9,8	Ash	11,7	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	6,904	4,76	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	12,2	Birch	9,4	Ash	10,4								
			Lamella 3			Aspen	10,7	Birch	8,5	Ash	9,9								
			Lamella 4			Aspen	10,6	Birch	9,6	Ash	9,6								
			SP average	Ash	10,5	Aspen	11,4	Birch	9,3	Ash	10,4								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK2-4	31.03.2017	16:38	Lamella 1	Ash	11,1	Aspen	11,5	Birch	9,0	Ash	7,8	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	6,695	7,79	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,9	Birch	8,4	Ash	10,3								
			Lamella 3			Aspen	12,4	Birch	10,2	Ash	9,2								
			Lamella 4			Aspen	12,8	Birch	9,1	Ash	8,2								
			SP average	Ash	11,1	Aspen	12,2	Birch	9,2	Ash	8,9								

SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-1	31.03.2017	16:56	Lamella 1	Ash	9,2	Alder	7,9	Birch	8,1	Ash	11,0	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	10,911	5,93	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	7,9	Birch	8,3	Ash	9,7								
			Lamella 3			Alder	6,7	Birch	8,1	Ash	7,4								Slower joint testing.
			Lamella 4			Alder	9,6	Birch	8,0	Ash	8,3								
			SP average	Ash	9,2	Alder	8,0	Birch	8,1	Ash	9,1								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-2	31.03.2017	17:13	Lamella 1	Ash	10,8	Alder	8,0	Birch	10,8	Ash	9,0	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	6,171	6,14	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	9,4	Birch	10,2	Ash	9,0								
			Lamella 3			Alder	9,2	Birch	10,2	Ash	8,8								
			Lamella 4			Alder	8,8	Birch	10,7	Ash	10,5								
			SP average	Ash	10,8	Alder	8,9	Birch	10,5	Ash	9,3								

SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-4	31.03.2017	17:28	Lamella 1	Ash	9,9	Alder	8,7	Birch	11,6	Ash	11,3	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	7,355	4,07	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	8,3	Birch	11,6	Ash	9,2								Test stoped for some reason the first time, we restarted the program and the machine.
			Lamella 3			Alder	7,6	Birch	9,8	Ash	8,4								
			Lamella 4			Alder	7,5	Birch	11,3	Ash	8,4								
			SP average	Ash	9,9	Alder	8,0	Birch	11,1	Ash	9,3								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK3-5	31.03.2017	17:37	Lamella 1	Ash	11,4	Alder	11,4	Birch	9,5	Ash	10,2	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	8,216	3,25	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Alder	10,2	Birch	9,2	Ash	8,2								
			Lamella 3			Alder	8,5	Birch	8,3	Ash	8,0								
			Lamella 4			Alder	9,1	Birch	8,8	Ash	10,8								
			SP average	Ash	11,4	Alder	9,8	Birch	9,0	Ash	9,3								

SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-1	31.03.2017	17:48	Lamella 1	Birch	7,7	Aspen	11,3	Spruce	12,0	Birch	7,9	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	9,677	2,68	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,2	Spruce	12,9	Birch	7,7								
			Lamella 3			Aspen	9,8	Spruce	10,2	Birch	8,1								
			Lamella 4			Aspen	9,4	Spruce	11,0	Birch	8,5								
			SP average	Birch	7,7	Aspen	10,2	Spruce	11,5	Birch	8,1								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-2	31.03.2017	18:00	Lamella 1	Birch	7,6	Aspen	11,5	Spruce	9,3	Birch	9,6	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	5,336	3,24	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	9,8	Spruce	14,2	Birch	9,1								
			Lamella 3			Aspen	11,4	Spruce	13,6	Birch	7,9								
			Lamella 4			Aspen	11,6	Spruce	13,2	Birch	10,6								
			SP average	Birch	7,6	Aspen	11,1	Spruce	12,6	Birch	9,3								
SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-4	31.03.2017	18:12	Lamella 1	Birch	8,3	Aspen	11,1	Spruce	12,0	Birch	8,0	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Glued	15,924	5,59	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	11,5	Spruce	12,4	Birch	8,2								
			Lamella 3			Aspen	11,7	Spruce	13,0	Birch	8,6								
			Lamella 4			Aspen	12,6	Spruce	14,3	Birch	9,4								
			SP average	Birch	8,3	Aspen	11,7	Spruce	12,9	Birch	8,6								

SP Name	Date	Time	Moisture meas. Point	Specimen moisture content								Outside section (mm x mm)	Lenght (mm)	Test type	Span (mm)	Type of joint	Destructive Load (kN)	Plastic def. (mm)	Notes
				Layer 1	Moisture (%)	Layer 2	Moisture (%)	Layer 3	Moisture (%)	Layer 4	Moisture (%)								
S 01 KK4-5	31.03.2017	18:22	Lamella 1	Birch	7,8	Aspen	11,1	Spruce	12,5	Birch	7,7	80 x 80	889 shifted	Four point flexure bending test.	789 (263 + 263 + 263) mm	Dry	6,333	3,25	Test machine MTS DY36, moisture measuring GANN Hydromette HT 85 T
			Lamella 2			Aspen	10,5	Spruce	12,0	Birch	8,7								
			Lamella 3			Aspen	11,7	Spruce	13,2	Birch	8,6								
			Lamella 4			Aspen	11,7	Spruce	11,8	Birch	7,9								
			SP average	Birch	7,8	Aspen	11,3	Spruce	12,4	Birch	8,2								

Lisa 8. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Peep Nurme,
Sünniaeg 11.05.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Erinevatest puiduliikidest liimpuitlattice tugevuskatsed ja nendest monteeritava võrkkooriku modelleerimine,
mille juhendaja on Tõnis Teppand,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 19.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)